



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Рубцовский индустриальный институт (филиал)**  
федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический  
университет им. И.И. Ползунова»  
(РИИ АлтГТУ)

**В.В. БОРИСОВСКИЙ**  
**В.И. БАХМАТ**

## **ОПТИКА**

**Методические указания к лабораторным работам  
по физике для студентов технических направлений  
всех форм обучения**

**Рубцовск 2015**

УДК 53 (07)

Борисовский В.В., Бахмат В.И. Оптика: Методические указания для студентов технических направлений всех форм обучения/ Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2015. - 31 с.

Методические указания включают цикл лабораторных работ по геометрической и волновой оптике и квантовой природе излучения.

Все работы составлены по единому плану: дается теоретическое введение, описание установки, указывается порядок выполнения работы и последовательность обработки результатов наблюдения и вычислений, список рекомендательной литературы.

Рассмотрены и одобрены  
на заседании кафедры ВМФиХ  
Рубцовского индустриального  
института  
Протокол № 3 от 30.11.2015г.

Рецензент:  
к.т.н., доцент

С.А. Гончаров

© Рубцовский индустриальный институт, 2015

## СОДЕРЖАНИЕ

ТРЕБОВАНИЯ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ УЧЕБНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ	4
Лабораторная работа № 1 «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛАВНОГО ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ ЛИНЗ»	5
Лабораторная работа № 2 «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ СТЕКЛА ПРИ ПОМОЩИ МИКРОСКОПА»	10
Лабораторная работа № 3 «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ СИЛЫ ЛИНЗЫ С ПОМОЩЬЮ СФЕРОМЕТРА»	13
Лабораторная работа № 4 «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ ПРИ ПОМОЩИ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ»	17
Лабораторная работа № 5 «ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРА САХАРА ПОЛЯРИМЕТРОМ»	20
Лабораторная работа № 6 «СРАВНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ СВЕТОВОЙ ОТДАЧИ ЛАМПЫ НАКАЛИВАНИЯ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ ЛАМПЫ»	23
Лабораторная работа № 7 «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ РАСТВОРОВ С ПОМОЩЬЮ РЕФРАКТОМЕТРА»	26
Лабораторная работа № 8 «ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ОКРАШЕННЫХ РАСТВОРОВ ФОТОКОЛОРИМЕТРОМ»	28

# **ТРЕБОВАНИЯ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ УЧЕБНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ**

## **1. Основные положения**

1.1. К работе в учебной лаборатории допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности. Инструктаж проводит преподаватель на вводном занятии, после чего студенты расписываются в специальном журнале, который хранится в лаборатории.

1.2. Студенты, допущенные к занятиям, должны знать правила работы на установках, изложенные в руководстве к лабораторным работам по курсу общей физики.

1.3. Выполнять работы разрешается только на исправных и полностью укомплектованных лабораторных установках. На рабочем месте не должны находиться предметы, не требующиеся при выполнении задания.

1.4. Находясь в лаборатории, студенты должны быть внимательны, дисциплинированы, точно выполнять указания преподавателя.

1.5. Студенты, виновные в нарушении инструкции, несут ответственность, степень которой зависит от характера нарушения и последствий.

## **2. Характеристика выполняемой работы и рабочего места**

2.1. Лабораторные установки по курсу общей физики включают в себя мерительные инструменты, электроизмерительные и осветительные приборы.

2.2. Перед началом работы в учебной лаборатории студент обязан: привести в порядок рабочее место, убрать все, что может помешать при работе; внимательно провести внешний осмотр установок, убедиться в исправном состоянии измерительных приборов, клемм, соединительных проводов и кнопок управления, выключателя сети. Осмотр производить при отключенных установках.

2.3. Работа на установках запрещается при обнаружении повреждения изоляции электропроводки, неисправности отдельных узлов, при отсутствии заземления и предохранительных приспособлений.

## **3. Обязанности студентов при выполнении лабораторных работ**

3.1. Работать разрешается только на установках, за которыми студент закреплен и которые им хорошо изучены.

3.2. Следить за освещенностью рабочего места.

3.3. Электрическую схему следует собирать так, чтобы провода не перекрещивались, не вытягивались и не скручивались петлями. Приборы управления и измерительные приборы расставлять так, чтобы было удобно производить переключения, передвигать ползунки и рукоятки, наблюдать за приборами, не перегибаясь через приборы и провода.

3.4. После сборки схемы установки начинать работу можно только после разрешения преподавателя.

3.5. Перед включением установки в сеть Латр должен быть выведен в нулевое положение, а положение ползунка реостата соответствовать

максимальному сопротивлению цепи; ключи, подающие напряжение в измерительную цепь, разомкнуты.

3.6. Изменять напряжение в цепи необходимо плавно. При проведении переключений отключить всю установку от сети.

3.7. При обнаружении повреждений электрического оборудования, измерительных приборов и проводов необходимо немедленно отключить лабораторную установку и сообщить об этом преподавателю.

3.8. После окончания работы отключить установки от электросети, убрать рабочее место, обо всех неполадках сообщить преподавателю.

#### 4. Поведение при возникновении несчастных случаев и пожара

4.1. При возникновении пожара необходимо пользоваться огнетушителем и песком, имеющимся в лаборатории.

4.2. При возникновении несчастного случая следует действовать согласно инструкции по мерам оказания первой медицинской помощи в лабораториях.

### Лабораторная работа № 1

#### «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛАВНОГО ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ ЛИНЗ»

**Приборы и принадлежности:** оптическая скамья, набор линз, осветитель, экран.

**Цель работы:** а) изучить основные свойства линз; б) опытным путем определить главное фокусное расстояние и оптическую силу линз.

#### Теория метода и описание установки

Линза представляет собой оптически прозрачное тело, ограниченное двумя поверхностями, преломляющими световые лучи, способное формировать оптические изображения предметов, святающихся собственным или отраженным светом. Наиболее употребительны линзы, обе поверхности которых обладают общей осью симметрии  $1-1'$ , через которую проходит главная плоскость линзы (рис.1), а из них – линзы со сферическими поверхностями с радиусами  $R_1$  и  $R_2$

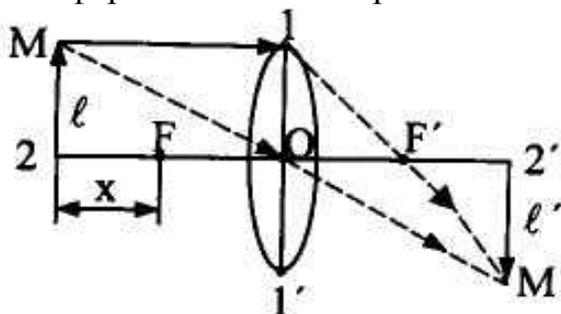


Рис. 1

Линза называется тонкой, если ее толщина мала по сравнению с радиусами кривизны ее поверхности. Если луч света идет параллельно главной оптической оси  $2-2'$ , то, пройдя линзу, он пересечет главную оптическую ось в точке,

называемой главным фокусом линза ( $F$  и  $F'$ ). Расстояния  $OF$  и  $OF'$  называются фокусными расстояниями линзы. Если направление фокусного расстояния совпадает с направлением лучей света, то его считают положительным, так, например, на рис.1 лучи проходят через линзу направо и так же ориентирован отрезок  $OF'$ . Поэтому  $OF' > 0$ , а  $OF < 0$ .

Линзы изменяют направление падающих на нее лучей. Если линза преобразует параллельный пучок в сходящийся, ее называют собирающей; если параллельный пучок превращается в расходящийся, линзу называют рассеивающей. Мерой преломляющего действия линзы служит ее оптическая сила  $\Phi$  – величина, обратная фокусному расстоянию ( $\Phi = 1/OF'$ ), она измеряется в диоптриях,  $m^{-1}$ , у собирающих линз  $\Phi > 0$ , поэтому их еще именуют положительными, рассеивающие линзы ( $\Phi < 0$ ) называют отрицательными. Линейное увеличение линзы

$$V = \frac{l'}{l} = \frac{O2'}{O2}, \quad (1.1)$$

где  $l$  и  $l'$  – величины предмета и его изображения;

$x$  – расстояния от переднего фокуса до предмета.

Собирающая линза дает действительное изображение предмета, когда предмет расположен перед фокусом; если предмет расположен между фокусом и линзой, его изображение будет мнимым; рассеивающая линза всегда дает мнимое изображение предмета.

Радиус кривизны поверхностей, ограничивающих линзы  $R_1$  и  $R_2$ , связаны с фокусным расстоянием линзы и показателями преломления материала линзы « $n$ » следующим соотношением:

$$\frac{1}{OF} = (n_n - 1) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right). \quad (1.2)$$

Измерения величин  $n_n$ ,  $R_1$  и  $R_2$  представляют определенную трудность, но фокусное расстояние  $OF$  можно найти, не зная этих величин. Для этого пользуются методом Гаусса-Бесселя.

Если расстояние от предмета до экрана больше или равно четырем фокусным расстояниям линзы, то, перемещая между ними линзу, можно получить два отчетливых изображения на экране – одно увеличенное, другое уменьшенное. Пусть расстояние между предметом и экраном равно  $X$ , положение линзы 1 соответствует четкому увеличенному изображению предмета, а 2 – четкому уменьшенному его изображению (рис. 2).

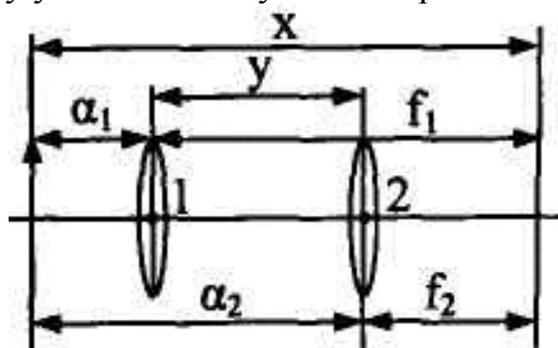


Рис. 2

Для двух положений линзы имеем

$$\frac{1}{OF} = \frac{1}{\alpha_1} - \frac{1}{f_1}, \quad \frac{1}{OF} = \frac{1}{\alpha_2} + \frac{1}{f_2}. \quad (1.3)$$

Из рисунка 2 видно, что:

$$X = \alpha_1 + y + f_2; \quad X = \alpha_2 - y + f_1. \quad (1.4)$$

Принимая во внимание, что  $\alpha_1 = f_2$ , а  $\alpha_2 = f_1$  (из закона обратимости световых лучей), из уравнений (1.3) и (1.4) получим выражение для главного фокусного расстояния в виде:

$$\langle OF \rangle = \frac{x^2 - \langle Y \rangle^2}{4x}. \quad (1.5)$$

Таким образом, измерив  $X$  и  $Y$ , легко определить главное фокусное расстояние  $\langle OF \rangle$  и оптическую силу  $\langle \Phi \rangle = 1/\langle OF \rangle$  линзы.

Установка смонтирована на оптической скамье со шкалой (линейкой). В начале скамьи устанавливается святающийся предмет (стрелка, освещенная электрической лампой), в конце скамьи экран. Поместив между предметом и экраном исследуемую линзу и перемещая ее, добиваются четкого изображения предмета на экране.

### Порядок выполнения работы

#### *А. Определение фокусного расстояния и оптической силы собирающей линзы.*

1. Установить экран в конце линейки оптической скамьи, на линейке отсчитать положение экрана  $X = \dots$  м.

2. Перемещая линзу, добиться отчетливого увеличенного изображения предмета на экране, произвести отчет на линейке оптической скамьи  $\alpha_1$  и занести этот результат в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты исследования собирающей линзы

№ опыта	$\alpha_1$ , мм	$\alpha_2$ , мм	$Y$ , мм	$\langle Y \rangle - Y_i$	$(\langle Y \rangle - Y_i)^2$	$\langle OF \rangle$ , мм
1						
2						
3						
4						
5						

3. Перемещая линзу к экрану, добиться отчетливого уменьшенного изображения предмета на экране, произвести отчет на линейке  $d_{2i}$  и занести в таблицу 1.

Опыт повторить пять раз.

4. По результатам измерений  $\alpha_{1i}$  и  $\alpha_{2i}$  найти 5 значений  $Y_i = \alpha_{1i} - \alpha_{2i}$  и из них найти среднее значение

$$\langle Y \rangle = \frac{1}{n} \sum Y_i,$$

где  $n$  – число измерений.

5. По формуле (1.5) найти фокусное расстояние  $\langle OF \rangle$  и оптическую силу  $\langle \Phi \rangle = 1/\langle OF \rangle$  линзы.

6. Вычислить среднее квадратное отклонение:

$$S_{\langle Y \rangle} = \sqrt{\sum (\langle Y \rangle - Y_i)^2 / n(n-1)}.$$

7. Абсолютные систематические ошибки  $\delta \alpha_1$ ,  $\delta \alpha_2$  и  $\delta X$  определения длин  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $d_2$  и  $x$  принять равным половине цены деления шкалы линейки оптической скамьи  $\delta \alpha_1 = \delta \alpha_2 = \delta X = \dots$  мм. Тогда  $\delta \langle Y \rangle = \sqrt{\delta \alpha_1^2 + \delta \alpha_2^2}$ , то есть  $\delta \langle Y \rangle = \dots$  мм.

8. Определить относительную систематическую ошибку  $\gamma$  измерения фокусного расстояния  $\langle OF \rangle$  линзы по формуле

$$\gamma = \frac{\delta \langle OF \rangle}{\langle OF \rangle} = \sqrt{\left(\frac{\delta X}{X}\right)^2 + \left(\frac{2X \delta X}{X^2 - \langle Y \rangle^2}\right)^2 + \left(\frac{2 \langle Y \rangle \delta \langle Y \rangle^2}{X^2 - \langle Y \rangle^2}\right)^2}.$$

9. Абсолютная систематическая ошибка в определении  $\langle OF \rangle$  равна:

$$\delta \langle OF \rangle = \gamma \langle OF \rangle.$$

10. Случайную абсолютную погрешность величины  $\langle OF \rangle$  определить по формуле:

$$\Delta \langle OF \rangle = t_{a,n} \cdot S_{\langle OF \rangle},$$

где  $t_{a,n}$  - коэффициент Стьюдента (находится по таблице) при доверительной вероятности  $a = 0,95$  и числе измерений  $n$ .

Среднеквадратичное отклонение  $S_{\langle OF \rangle}$  вычисляется по формуле

$$S_{\langle OF \rangle} = 2 \langle OF \rangle S_{\langle Y \rangle} / \langle Y \rangle.$$

11. Окончательный результат записать в виде:

а) фокусное расстояние собирающей линзы равно

$$OF = \langle OF \rangle \pm (\Delta \langle OF \rangle + \delta \langle OF \rangle), \text{ м}$$

при доверительной вероятности  $a = 0,95$ ;

б) оптическая сила собирающей линзы равна:

$$\Phi = \langle \Phi \rangle \pm (\Delta \langle \Phi \rangle + \delta \langle \Phi \rangle), \text{ м}^{-1}$$

при доверительной вероятности  $a = 0,95$ .

Здесь

$$\Delta \langle \Phi \rangle = \frac{1}{\Delta \langle OF \rangle}, \quad \delta \langle \Phi \rangle = \frac{1}{\delta \langle OF \rangle}.$$

12. Найти относительную ошибку результатов, равную:

$$E = \frac{\delta \langle OF \rangle + \Delta \langle OF \rangle}{\langle OF \rangle} \cdot 100\%.$$

**Б. Определение фокусного расстояния и оптической силы рассеивающей линзы.**

1. Установить экран на расстоянии 30 - 40 см от предмета (стрелки) и перемещением собирающей линзы  $L$  добиться четкого уменьшенного изображения предмета на экране. Записать положения экрана  $X$ .

2. Между собирающей линзой и экраном поставить рассеивающую линзу  $L'$  (рис.3) и записать ее положение  $Y$ . Для линзы  $L'$  «предметом» является изображение на экране в положении  $X$ .

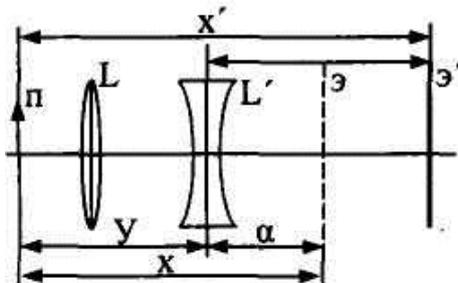


Рис.3

3. Отодвигая экран от линзы  $L'$  вдоль линейки, добиться резкого изображения предмета на экране. Между собирающей линзой и экраном поместить в то же самое положение  $Y$  рассеивающую линзу  $L'$  и, отодвигая экран, получить резкое изображение предмета. Отсчитать новое положение экрана  $X'$ . Опыт повторить пять раз. Результаты занести в таблицу 2.

Таблица 2

Результаты исследования рассеивающей линзы

$x = \dots$  мм,  $y = \dots$  мм.

№ опыта	$X'$ , мм	$\langle X' \rangle$ , мм	$\langle f \rangle$ , мм	$\alpha$ , мм	$\langle OF' \rangle$ , мм
1					
2					
3					
4					
5					

5. По результатам измерений  $X'_i$  найти среднее значение  $\langle X' \rangle$ .

6. Учитывая, что  $\alpha = X - Y$ , а  $\langle f \rangle = \langle X' \rangle - Y$ , по формуле для рассеивания линзы

$$\frac{1}{\langle OF' \rangle} = \frac{1}{\langle f \rangle} - \frac{1}{\alpha}; \quad \langle OF' \rangle = \frac{\alpha \langle f \rangle}{\langle f \rangle - \alpha} = \frac{(X - Y)(\langle X' \rangle - Y)}{\langle X' \rangle - X}$$

Найти главное фокусное расстояние  $\langle OF' \rangle$  для рассеивающей линзы и ее оптическую силу  $\langle \Phi' \rangle = 1/\langle OF' \rangle$

**Контрольные вопросы**

1. Дайте определение оптического центра.

2. Как влияет коэффициент преломления линзы и среды на оптическую силу и фокусное расстояние?
3. Построение изображений в собирающих, рассеивающих линзах.
4. Погрешности линз.

### Список литературы

1. Борисовский, В.В. Краткий курс физики. Часть 3. Оптика: Учеб. пособ. для студентов всех форм обучения технических направлений/ В.В. Борисовский. - Рубцовск: РИИ, 2013. - 66 с.
2. Валишев, М.Г. Курс общей физики / М.Г. Валишев, А.А. Повзнер. — СПб. : Лань, 2010. — 574 с. [ЭР] (<http://e.lanbook.com/help/>).
3. Савельев, И.В. Курс общей физики: В 4 т.: Т. 3[текст]/ И.В. Савельев. - М.: Кнорус, 2009. - 359 с.

## Лабораторная работа № 2

### «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ СТЕКЛА ПРИ ПОМОЩИ МИКРОСКОПА»

**Приборы и принадлежности:** Микроскоп, микрометр, стеклянная пластина.

**Цель работы:** а) изучить закономерности распространения света в различных средах; б) определить коэффициент преломления прозрачного твердого тела.

#### Теория метода и описание установки

Предмет, рассматриваемый через плоскопараллельную пластину, имеющую большую оптическую плотность, по сравнению с воздухом, кажется нам расположенным ближе. Рассмотрим ход лучей в плоскопараллельной стеклянной пластине (рис. 4). Наблюдая сверху, мы увидим точку «О» на пересечении лучей *СВ* и *ОД*. Установим связь между показателем преломления пластины *n*, толщиной *d* и кажущейся толщиной *a*.

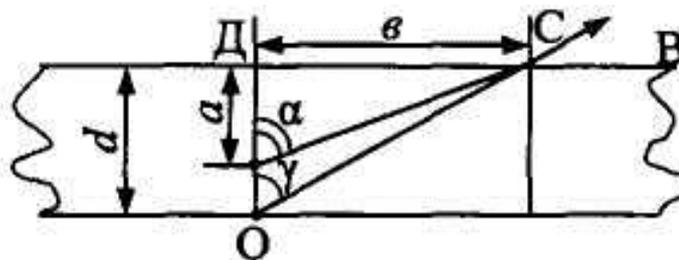


Рис. 4

Из рисунка 4 следует, что:

$$d/v = ctg\gamma; \quad v/a = tg\alpha. \quad (2.1)$$

Перемножая полученные выражения, получим:

$$d/a = \operatorname{ctg} \gamma \cdot \operatorname{tg} \alpha = \frac{\cos \gamma}{\sin \gamma} \cdot \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}. \quad (2.2)$$

Принимая во внимание, что  $\sin \alpha / \sin \gamma = n$ , после преобразования получим:

$$d/a = \sqrt{\frac{n^2 - \sin^2 \alpha}{1 - \sin^2 \alpha}}. \quad (2.3)$$

При  $\alpha \rightarrow 0$ ,  $d/a \rightarrow n$ . Таким образом, при наблюдении вертикально сверху:

$$n = d/a. \quad (2.4)$$

Описанным явлением кажущегося поднятия предмета пользуются при определении показателя преломления прозрачных пластин при помощи микроскопа. Истинная толщина пластинки измеряется микрометром, а кажущаяся – микроскопом с микрометрическим винтом.

### Порядок выполнения работы

1. Измерить пять раз микрометром толщину прозрачной пластинки вокруг штрихов. Результаты занести в таблицу 2.1. На верхней поверхности пластинки нанесен штрих. На нижней – другой, но во взаимно перпендикулярном направлении.

Таблица 2.1

Результаты измерения истинной толщины пластинки микрометром

№ опыта	$a_i$ , мм	$\langle d \rangle$ , мм	$\langle a \rangle - d_i$	$(\langle a \rangle - d_i)^2$
1				
2				
3				
4				
5				

2. Вычислить среднее значение толщины пластинки:

$$\langle d \rangle = \frac{1}{n} \sum d_i.$$

3. Положить пластинку на предметный столик микроскопа так, чтобы пересечение штрихов оказалось в центре поля зрения. Микрометрический винт, вращением по часовой стрелке, перевести в крайнее положение и возвратить назад на один оборот. Винтом подъема тубуса микроскопа опустить тубус до расстояния 10 мм от поверхности пластинки и, наблюдая в окуляр микроскопа, этим же винтом поднимать тубус до четкого изображения штриха на нижней поверхности пластинки. Микрометрическим винтом настроиться окончательно на резкое изображение и взять отсчет по микрометрическому винту  $K_1$ . Результат занести в таблицу 2.2. С этого момента и до конца выполнения работы винт подъема тубуса **не трогать**, а работать **только микрометрическим винтом**.

4. Вращая микрометрический винт против часовой стрелки и считая при этом число полных оборотов  $m$ , сделанных винтом, добиться четкого изображения штриха на верхней грани пластинки, взять отсчет по микрометрическому винту  $K_2$  и величины  $m$  и  $K_2$  также занести в таблицу 2.2.

Таблица 2.2

Определение кажущейся толщины пластинки  
при помощи микроскопа

№ опыта	$m_i$	$K_{1i}$	$K_{2i}$	$a_i$	$\langle a \rangle$ , мм	$\langle a \rangle - a_i$	$(\langle a \rangle - a_i)^2$
1							
2							
3							
4							
5							

5. Вращая микрометрический винт по часовой стрелке, перевести его в крайнее положение, добиться четкого изображения штриха на нижней грани пластины вращением микрометрического винта, вновь взять отсчет  $k_1$  и занести его во вторую строку табл. 2.2. Далее по пункту 4 найти  $m$  и  $K_2$ . Опыт повторить пять раз.

6. Вычислить пять значений  $a$  по формуле:

$$a = mz + (K_2 - K_1)C, \quad (2.5)$$

где  $z$  – шаг микрометрического винта ( $z=0,1$  мм);

$C$  - 0,002 мм – цена микрометрического винта.

7. Вычислить среднее значение величины  $a$

$$\langle a \rangle = \frac{1}{n} \sum a_i.$$

8. Вычислить среднее значение коэффициента преломления пластинки по формуле:

$$\langle n \rangle = \frac{\langle d \rangle}{\langle a \rangle}.$$

9. Вычислить среднеквадратичные отклонения  $S_{\langle d \rangle}$  и  $S_{\langle a \rangle}$ :

$$S_{\langle a \rangle} = \sqrt{\frac{\sum (\langle a \rangle - a_i)^2}{n(n-1)}}, \quad S_{\langle d \rangle} = \sqrt{\frac{\sum (\langle d \rangle - d_i)^2}{n(n-1)}}.$$

10. За абсолютную систематическую ошибку величины  $a$  принять  $\delta a = C = 0,002$  мм, а  $\delta d$  принять равным цене деления микрометра  $\delta d = \dots$  мм.

11. Найти относительную систематическую ошибку  $\gamma$  определения величины  $\langle n \rangle$  по формуле

$$\gamma = \frac{\delta \langle n \rangle}{\langle n \rangle} = \sqrt{\left(\frac{\delta d}{\langle d \rangle}\right)^2 + \left(\frac{\delta a}{\langle a \rangle}\right)^2}.$$

12. Абсолютная систематическая ошибка равна:

$$\delta \langle n \rangle = \gamma \langle n \rangle.$$

13. Случайную абсолютную погрешность определить по формуле:

$$\Delta \langle n \rangle = t_{a,n} \cdot S_{\langle n \rangle}.$$

где  $t_{a,n}$  - коэффициент Стьюдента при  $a = 0,95$ .

$$S_{\langle n \rangle} = \langle n \rangle \sqrt{\left(\frac{S_{\langle a \rangle}}{\langle a \rangle}\right)^2 + \left(\frac{S_{\langle d \rangle}}{\langle d \rangle}\right)^2}.$$

14. Окончательный результат записать в виде:

$$n = \langle n \rangle \pm (\Delta \langle n \rangle + \delta \langle n \rangle) \text{ при } a = 0,95.$$

15. Найти относительную ошибку результатов<sup>^</sup>

$$E = \frac{(\Delta \langle n \rangle + \delta \langle n \rangle) \cdot 100\%}{\langle n \rangle}.$$

### Контрольные вопросы

1. Сформулируйте основные законы геометрической оптики.
2. Что такое показатель преломления среды?
3. При каких условиях справедлива формула (2.4)?

### Список литературы

1. Борисовский, В.В. Краткий курс физики. Часть 3. Оптика: Учеб. пособ. для студентов всех форм обучения технических направлений/ В.В. Борисовский. - Рубцовск: РИИ, 2013. - 66 с.
2. Валишев, М.Г. Курс общей физики / М.Г. Валишев, А.А. Повзнер. — СПб. : Лань, 2010. — 574 с. [ЭР] (<http://e.lanbook.com/help/>).
3. Савельев, И.В. Курс общей физики: В 4 т.: Т. 3 [текст]/ И.В. Савельев. - М.: Кнорус, 2009. - 359 с.

## Лабораторная работа № 3

### «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ СИЛЫ ЛИНЗЫ С ПОМОЩЬЮ СФЕРОМЕТРА»

**Приборы и принадлежности:** сферометр, набор линз и плоскопараллельная пластина.

**Цель работы:** а) изучить свойства линзы; б) определить оптическую силу линзы.

#### Теория метода и описание установки

Оптическая сила линзы определяется по формуле:

$$\Phi = \left(\frac{n_l}{n_{cp}} - 1\right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right), \quad (3.1)$$

где  $n_l$  – показатель преломления вещества линзы;

$n_{cp}$  – показатель преломления окружающей среды (для воздуха  $n_{cp} = 1$ );

$R_1$  и  $R_2$  – радиусы кривизны поверхностей, окружающих линзу.

Из формулы (3.1) видно, что оптическую силу линзы  $\Phi$  можно найти, если известны  $n_{л}$ ,  $R_1$  и  $R_2$ .  $n_{л}$  для стеклянных линз  $n_{л} = 1,5$ . Радиусы сферических поверхностей  $R_1$  и  $R_2$  определяются сферометром.

Сферометр состоит из треножника Т с вертикальной линейкой и полого микрометрического винта М с лимбом К (рис. 5). Основания точек сферометра находятся в вершинах равностороннего треугольника. Один оборот микрометрического винта соответствует его вертикальному перемещению на 0,5 мм. Лимб К разделен на 500 частей, то есть цена одного деления:  $C = 0,001$  мм.

Момент соприкосновения острия  $l$  микрометрического винта М с твердой поверхностью фиксируется по поднятию рычажка Р. Угол отклонения рычажка отмечается по шкале F. Винт вращается за головку Е.

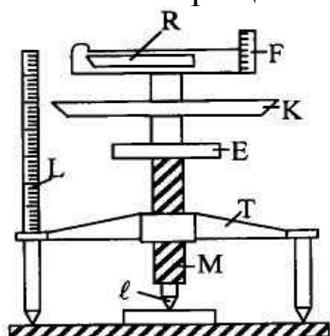


Рис. 5

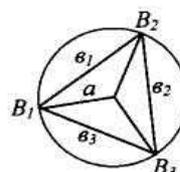


Рис. 6

### Порядок выполнения работы

1. Определить нулевую точку сферометра. Для этого поставить его на отполированную контрольную плоскость так, чтобы на ней находились все три ножки сферометра, и вращать винт М до соприкосновения острия  $l$  с плоскостью. В момент касания зафиксировать показания на линейке L и на лимбе, то есть:

$$h_0 = N_0 + n_0 C, \quad (3.2)$$

где  $N_0$  – показания на линейке;  
 $n_0$  – показания на лимбе.

2. Поставить сферометр на вогнутую или выпуклую поверхность линзы, довести винт М до соприкосновения с ней и отсчитать соответствующие значения  $N_1$  и  $n_1$ . Тогда:

$$h_1 = N_1 + n_1 C. \quad (3.3)$$

Измерения провести 5 раз и разность  $h_i = h_{1i} - h_{0i}$  записать в таблицу 3.1.

Таблица 3.1

№ опыта	$h_{0i}$ , мм	$h_{1i}$ , мм	$h_i$ , мм	$\langle h \rangle - h_i$ , мм	$(\langle h \rangle - h_i)^2$
1					
2					
3					
4					
5					

3. Вычислить среднее значение:

$$\langle h \rangle = \sum h_i / n.$$

4. Определить расстояние между ножками сферометра. Для этого сферометр прижать к листу чистой бумаги и штангенциркулем определить  $v_1, v_2, v_3$  (рис.6).

Измерения провести по 2 раза для каждой величины и результат занести в таблицу 3.2.

Таблица 3.2

№ опыта	$v_i$ , мм	$\langle v \rangle - v_i$ , мм	$(\langle v \rangle - v_i)^2$
1			
2			
3			
4			
5			
6			

5. Определить среднее значение  $\langle v \rangle$  из шести измерений:

$$\langle v \rangle = \sum v_i / n.$$

6. Вычислить среднее значение радиуса кривизны линзы по формуле:

$$\langle R \rangle = \frac{\langle v \rangle^2 + 3\langle h \rangle^2}{6\langle h \rangle}. \quad (3.4)$$

7. Найти относительную систематическую ошибку  $\gamma$  вычисления  $\langle R \rangle$  по формуле:

$$\gamma = \frac{\delta \langle R \rangle}{\langle R \rangle} = \sqrt{\left(\frac{\delta h}{\langle h \rangle}\right)^2 + \left(\frac{2\langle v \rangle \delta v}{\langle v \rangle^2 + 3\langle h \rangle^2}\right)^2 + \left(\frac{6\langle h \rangle \delta h}{\langle v \rangle^2 + 3\langle h \rangle^2}\right)^2},$$

где за систематическую ошибку  $\delta h$  измерения  $h$  принять цену деления лимба  $K$ ,  $\delta h = \dots$ мм,  $\delta v$  измерения  $v$  принять цену деления штангенциркуля,  $\delta v = \dots$ мм.

8. Найти абсолютную систематическую ошибку:

$$\delta \langle R \rangle = \gamma \langle R \rangle.$$

9. Вычислить среднеквадратичные отклонения  $S_{\langle h \rangle}$  и  $S_{\langle v \rangle}$ :

$$S_{\langle h \rangle} = \sqrt{\frac{\sum (\langle h \rangle - h_i)^2}{n(n-1)}}, \quad S_{\langle v \rangle} = \sqrt{\frac{\sum (\langle v \rangle - v_i)^2}{n(n-1)}}.$$

10. Абсолютную случайную ошибку  $\Delta R$  определить по формуле:

$$\Delta \langle R \rangle = t_{a,n} \cdot S_{\langle R \rangle},$$

где  $t_{a,n}$  - коэффициент Стьюдента (находится по таблице) при  $a = 0,95$  и числе измерений  $n = 6$ .

$$S_{\langle R \rangle} = \langle R \rangle \sqrt{\left(2 \frac{S_{\langle v \rangle}}{\langle v \rangle^2 + 3\langle h \rangle^2}\right)^2 + \left(2 \frac{S_{\langle h \rangle}}{\langle v \rangle^2 + 3\langle h \rangle^2}\right)^2 + \left(\frac{S_{\langle h \rangle}}{\langle h \rangle}\right)^2}.$$

11. Найти окончательный результат в виде:

$$R_1 = \langle R \rangle \pm (\Delta \langle R \rangle + \delta \langle R \rangle)$$

при доверительной вероятности  $a = 0,95$ .

12. Найти относительную ошибку результата.

13. Аналогично провести измерения и расчет радиуса кривизны второй поверхности.

14. Найти по формуле (3.1) среднее значение оптической силы линзы при  $n_{\text{ср}} = n_{\text{возд}} = 1$

$$\langle \Phi \rangle = (n_{\text{л}} - 1) \left( \frac{1}{\langle R_1 \rangle} + \frac{1}{\langle R_2 \rangle} \right).$$

15. Найти относительную систематическую ошибку вычислений по формуле:

$$\gamma = \frac{\delta \langle \Phi \rangle}{\langle \Phi \rangle} = \sqrt{\left( \frac{\delta n_{\text{л}}}{n_{\text{л}} - 1} \right)^2 + \left( \frac{\delta \langle R_1 \rangle}{\langle R_1 \rangle + \langle R_2 \rangle} \right)^2 + \left( \frac{\delta \langle R_2 \rangle}{\langle R_1 \rangle + \langle R_2 \rangle} \right)^2 + \left( \frac{\delta \langle R_1 \rangle}{\langle R_1 \rangle} \right)^2 + \left( \frac{\delta \langle R_2 \rangle}{\langle R_2 \rangle} \right)^2},$$

где  $\delta n_{\text{л}}$  принять равным половине единицы последнего разряда табличного значения  $n_{\text{л}}$ ,  $\delta R$  определено в п.8.

16. Найти абсолютную систематическую ошибку:

$$\delta \langle \Phi \rangle = \gamma \langle \Phi \rangle$$

17. Абсолютную систематическую ошибку  $\Delta \Phi$  определить по формуле:

$$\Delta \langle \Phi \rangle = t_{a,n} S_{\langle \Phi \rangle}$$

где  $t_{a,n}$  – коэффициент Стьюдента для  $a = 0,95$  и  $n = 5$ .

$$S_{\langle \Phi \rangle} = \langle \Phi \rangle \sqrt{\left( \frac{S_{\langle R_1 \rangle}}{\langle R_1 \rangle + \langle R_2 \rangle} \right)^2 + \left( \frac{S_{\langle R_2 \rangle}}{\langle R_1 \rangle + \langle R_2 \rangle} \right)^2 + \left( \frac{S_{\langle R_1 \rangle}}{\langle R_1 \rangle} \right)^2 + \left( \frac{S_{\langle R_2 \rangle}}{\langle R_2 \rangle} \right)^2}.$$

18. Записать результат в виде:

$$\Phi = \langle \Phi \rangle \pm (\Delta \langle \Phi \rangle + \delta \langle \Phi \rangle).$$

19. Найти относительную ошибку результата:

$$E = \frac{\Delta \langle \Phi \rangle + \delta \langle \Phi \rangle}{\langle \Phi \rangle}.$$

20. Сделать вывод по работе.

### Контрольные вопросы

1. Как зависит оптическая сила линзы от вещества линзы и ее геометрических параметров?

2. В чем заключается физический смысл абсолютного показателя преломления среды?

3. Что такое относительный показатель преломления среды?

### Список литературы

1. Борисовский, В.В. Краткий курс физики. Часть 3. Оптика: Учеб. пособ. для студентов всех форм обучения технических направлений/ В.В. Борисовский. - Рубцовск: РИИ, 2013. - 66 с.

2. Валишев, М.Г. Курс общей физики / М.Г. Валишев, А.А. Повзнер. — СПб. : Лань, 2010. — 574 с. [ЭР] (<http://e.lanbook.com/help/>).

#### Лабораторная работа № 4

### «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ ПРИ ПОМОЩИ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ»

**Приборы и принадлежности:** источник света, дифракционная решетка, экран с миллиметровым масштабом, измерительная линейка;

**Цель работы:** а) изучение дифракции света; б) определение длины волны света.

#### Теория метода и описание установки

Дифракцией называется распространение света в области геометрической тени, то есть отклонение световых волн от прямолинейного распространения. Наиболее четко дифракция световых волн наблюдается, если размеры отверстий или препятствий одного порядка с длиной световых волн.

Среди оптических приборов для наблюдения дифракции особое место занимает дифракционная решетка. Простейшая дифракционная решетка представляет собой стеклянную пластинку, на которой с помощью делительной машины нанесены параллельные штрихи через строго одинаковые интервалы. Сумму размеров прозрачной  $a$  и непрозрачной  $b$  полос  $d = a + b$  называют *периодом решетки*.

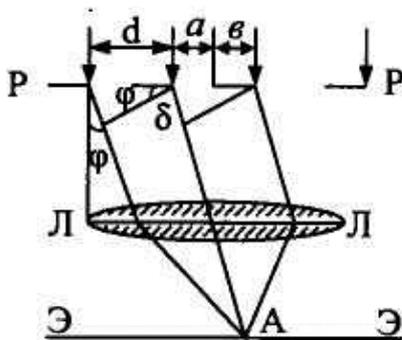


Рис. 7

Если дифракционную решетку осветить пучком параллельных лучей, падающих нормально, то наблюдается следующее явление. Свет при прохождении через узкие прозрачные полосы испытывает дифракцию. Отклонение лучей происходит под разными углами  $\varphi$  (рис. 7). Каждую щель дифракционной решетки можно считать самостоятельным источником когерентных лучей. На экране Э в фокальной плоскости линзы L будет происходить сложение многочленных пучков света, то есть произойдет интерференция световых лучей. В точке A на экране будет максимум света, если разность хода двух соседних лучей  $\delta = d \sin \varphi$  кратна целому числу волн, то есть  $\delta = k\lambda$ , то имеем максимум света, если  $\delta = (2k + 1) \lambda/2$ , то – минимум ( $k = 0, 1, 2, 3 \dots$ ).

Таким образом, условие максимума при прохождении света через дифракционную решетку примет вид:

$$d \sin \varphi = k \lambda. \quad (4.1)$$

Из уравнения (4.1) получают формулу, для определения длины волны:

$$\lambda = \frac{d \sin \varphi}{k}. \quad (4.2)$$

Анализ формулы (4.2) показывает, что для различных длин волн положение световых максимумов будет разное. Следовательно, дифракционная решетка будет разлагать белый свет на составные части.

При  $k = 0$  для всех длин волн  $\varphi = 0$ , то есть наблюдается центральная светлая нулевая полоса. При  $k = 1$  симметрично по обе стороны от центральной полосы получаются дифракционные цветные линии, от фиолетовой до красной, соответствующие разным длинам волн. Эта группа линий называется *спектром 1-го порядка*. При  $k = 2$  получается подобная же группа линий – *спектр 2-го порядка и так далее*.

Рассмотрим метод определения длины световой волны при помощи дифракционной решетки. Этот метод, схема установки которого показана на рис. 8, заключается в том, что дифракционный спектр рассматривают непосредственно на экране ММ без помощи линзы. Роль линзы выполняет хрусталик глаза, который фокусирует параллельные лучи, полученные при дифракции, на сетчатой оболочке глаза.

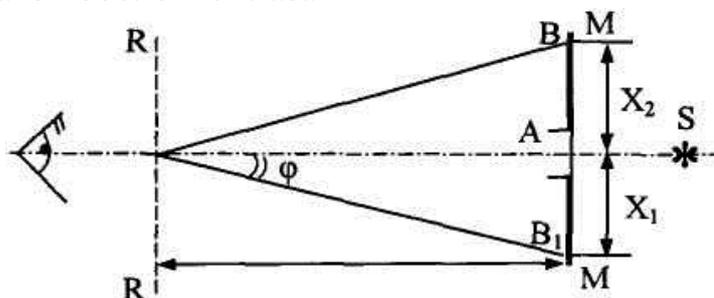


Рис. 8

На оптической скамье укреплены с одной стороны дифракционная решетка RR, с другой – экран MM, в котором прорезана щель прямоугольной формы. Под щелью укреплена шкала с делениями. Щель освещается электрической лампой S, между лампочкой и щелью может вставляться монохроматический светофильтр. Если смотреть на освещенную щель через дифракционную решетку, то кроме изображения щели по бокам будут видны симметричные дифракционные спектры.

Для определения длины волны  $\lambda$  в формуле (4.2) необходимо знать  $\sin \varphi$ . Так как  $l \gg x$ , то

$$\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi = \frac{x}{l}.$$

Подставляя значение  $\sin\varphi$  в выражение (4.2), получим формулу для нахождения длины волны:

$$\lambda = \frac{\langle x \rangle d}{lk}. \quad (4.3)$$

### Порядок выполнения работы

1. Включить лампочку и установить экран со щелью так, чтобы на нем получилось изображение центральной полосы и спектров 1-го и 2-го порядков.

2. С помощью масштабной линейки измерить расстояние от экрана до дифракционной решетки  $l$ .

3. Измерить на экране расстояние от центральной полосы до середины полос соответствующего цвета в спектрах 1-го и 2-го порядков. Измерения проводить для спектров справа от щели –  $X_1$  и для спектров слева от щели –  $X_2$ , затем определить среднее значение.

$$\langle X \rangle = \frac{X_1 + X_2}{2}.$$

4. Полученные результаты  $l$  и  $\langle X \rangle$  подставить в формулу (4.3) и вычислить длину волны соответствующего цвета в спектре 1-го и 2-го порядков.

5. Измерения провести для трех различных положений экрана, то есть для различных значений  $l$ , результаты записать в таблицу 4.1. Из шести найденных значений длины найти среднее  $\lambda$ .

Таблица 4.1

№ опыта	$l$ , мм	$k$	$X_1$ , мм	$X_2$ , мм	$X'$ , мм	$\lambda$ , мм <sub>i</sub>	$\langle \lambda' \rangle - \lambda_i$	$(\langle \lambda' \rangle - \lambda_i)^2$
1		1						
		2						
2		1						
		2						
3		1						
		2						

6. Вычислить среднеквадратичное отклонение

$$S_{\langle \lambda \rangle} = \sqrt{\frac{\sum (\langle \lambda \rangle - \lambda_i)^2}{n(n-1)}}.$$

7. Найти систематическую ошибку  $\delta$  вычисления  $\lambda$

$$\gamma = \frac{\delta \langle \lambda \rangle}{\langle \lambda \rangle} = \sqrt{\left(\frac{\delta x}{\langle x \rangle}\right)^2 + \left(\frac{\delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\delta l}{l}\right)^2}.$$

Систематическую ошибку  $\delta x$  принять равной половине цены деления линейки,  $\delta x = 0,5$  мм. Аналогично для  $\delta l = 0,5$  мм.  $\delta d$  в определении периода решетки  $d$  принять равным:

$$\delta d = \frac{d}{N},$$

где  $N$  – число штрихов на 1 мм,  $\delta d = \dots$  мм.

8. Абсолютная систематическая ошибка

$$\delta \langle \lambda \rangle = \gamma \langle \lambda \rangle.$$

9. Абсолютную случайную ошибку  $\Delta \langle \lambda \rangle$  определить по формуле:

$$\Delta \langle \lambda \rangle = t_{a,n} \cdot S_{\langle \lambda \rangle},$$

где  $t_{a,n}$  – коэффициент Стьюдента, находится из таблицы при доверительной вероятности  $a = 0,95$  и числе измерений  $n = 6$ .

10. Записать окончательный результат в виде:

$$\lambda = \langle \lambda \rangle \pm (\Delta \langle \lambda \rangle + \delta \langle \lambda \rangle).$$

11. Найти относительную ошибку результата

$$E = \frac{\Delta \langle \lambda \rangle + \delta \langle \lambda \rangle}{\langle \lambda \rangle}.$$

12. Сделать выводы по работе.

### Контрольные вопросы

1. Как определить наибольший порядок спектра дифракционной решетки?
2. Почему при использовании белого света только центральный максимум белый, а боковые максимумы радужно окрашены?
3. Почему штрихи на дифракционной решетке должны быть тесно расположены друг к другу?
4. Почему их должно быть большое число?

### Список литературы

1. Борисовский, В.В. Краткий курс физики. Часть 3. Оптика: Учеб. пособ. для студентов всех форм обучения технических направлений/ В.В. Борисовский. - Рубцовск: РИИ, 2013. - 66 с.
2. Валишев, М.Г. Курс общей физики / М.Г. Валишев, А.А. Повзнер. — СПб. : Лань, 2010. — 574 с. [ЭР] (<http://e.lanbook.com/help/>).
3. Савельев, И.В. Курс общей физики: В 4 т.: Т. 3 [текст]/ И.В. Савельев. - М.: Кнорус, 2009. - 359 с.

### Лабораторная работа № 5

#### «ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРА САХАРА ПОЛЯРИМЕТРОМ»

**Приборы и принадлежности:** поляриметр, трубки с раствором сахара, линейка.

**Цель работы:** а) ознакомиться со свойствами поляризованного света; б) определить концентрацию исходного раствора.

### Теория метода и описание установки

Некоторые вещества, например, раствор сахара, обладает способностью вращать (поворачивать) плоскость колебаний поляризованного луча света.

Угол поворота плоскости колебания зависит от толщины слоя и рода вещества, от длины волны света, а для растворов – еще и от концентрации растворенного вещества. Для растворов угол вращения выражается формулой:

$$\varphi = \alpha \cdot l \cdot c,$$

где  $\alpha$  – удельное вращение растворенного вещества;

$l$  – длина луча в растворе;

$c$  – концентрация раствора.

Измеряя  $\varphi$  и зная  $\alpha$  и  $l$ , можно определить концентрацию

$$c = \frac{\varphi}{\alpha \cdot l}. \quad (5.1)$$

Для измерения угла  $\varphi$  применяется прибор, называемый *поляриметром* (рис. 9). Его основные части: два николя I и II, расположенные в металлической трубке, поддерживаемой штативом. На николю I падает естественный свет от источника. Поляризованный луч падает на николю II, который может поворачиваться вокруг оси. Углы поворота отсчитываются при помощи градусного лимба.

Установить николи в положении перекрещивания по наблюдениям изменения интенсивности прошедшего через них света с большой точностью очень трудно. Поэтому для повышения точности наблюдений в поляриметр вводятся добавочные оптические части. Поле зрения в таком поляриметре кажется разделенным на две части.

Второй николю вращается до тех пор, пока обе половины зрения не покажутся одинаково затемненными. Трубки с испытуемыми растворами сахара вставляют во внутреннюю часть корпуса.

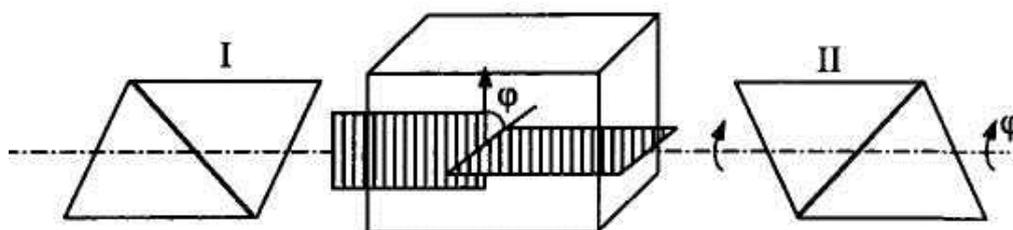


Рис. 9.

### Порядок выполнения работы

1. Включить источник света.
2. Откинуть стенку корпуса поляриметра и убедиться, что трубка с раствором сахара вынута.
3. Установить николю II (анализатор) на темноту с одинаковым затемнением обеих половинок поля зрения.
4. Определить постоянную прибора следующим образом: поместить трубку с раствором сахара известной концентрации  $C_0$  и известной длины  $l$  (длину трубки принято обозначать в дециметрах) во внутреннюю часть

корпуса, добиться того, чтобы обе половины зрения поляриметра были одинаково затемнены (как без трубки).

Отсчитать угол поворота плоскости поляризации  $\varphi_0$ . Измерения провести 5 раз и записать в таблицу 5.1.

Таблица 5.1

№ измер.	$\varphi_{0i}$	$\langle \varphi_0 \rangle - \varphi_{0i}$	$\varphi_{1i}$	$\langle \varphi_1 \rangle - \varphi_{1i}$	$(\langle \varphi_0 \rangle - \varphi_{0i})^2$	$(\langle \varphi_1 \rangle - \varphi_{1i})^2$
1						
2						
3						
4						
5						

5. Взять трубку с раствором сахара неизвестной концентрации и длиной  $l_1$ , определить  $\varphi_1$ . Измерения провести 5 раз и занести в таблицу.

6. Поставляя найденное значение  $\langle \varphi_0 \rangle$  и  $\langle \varphi_1 \rangle$ , известные значения  $C_0$ ,  $l_0$  и  $l_1$ , найти неизвестную концентрацию раствора по формуле:

$$\langle C \rangle = \frac{\langle \varphi_1 \rangle l_0 \cdot C_0}{\langle \varphi_0 \rangle l_1}.$$

7. Вычислить среднеквадратичное отклонение  $S_{\langle \varphi_0 \rangle}$  и  $S_{\langle \varphi_1 \rangle}$  для углов поворота  $\langle \varphi_0 \rangle$  и  $\langle \varphi_1 \rangle$ :

$$S_{\langle \varphi_0 \rangle} = \sqrt{\frac{\sum (\langle \varphi_0 \rangle - \varphi_{0i})^2}{n(n-1)}}, \quad S_{\langle \varphi_1 \rangle} = \sqrt{\frac{\sum (\langle \varphi_1 \rangle - \varphi_{1i})^2}{n(n-1)}}.$$

Систематическую ошибку  $\delta\varphi_0$  и  $\delta\varphi_1$  измерения угла поворота  $\langle \varphi_0 \rangle$  и  $\langle \varphi_1 \rangle$  принять равным половине цены деления прибора,  $\delta\varphi_0 = \delta\varphi_1 = \dots$ град.

8. Найти систематическую ошибку  $\gamma$  вычисления  $C$  по формуле:

$$\gamma = \frac{\delta \langle C \rangle}{\langle C \rangle} = \sqrt{\left(\frac{\delta \varphi_0}{\langle \varphi_0 \rangle}\right)^2 + \left(\frac{\delta \varphi_1}{\langle \varphi_1 \rangle}\right)^2 + \left(\frac{\delta l_0}{l_0}\right)^2 + \left(\frac{\delta l_1}{l_1}\right)^2 + \left(\frac{\delta C_0}{C_0}\right)^2},$$

где  $\delta l_1$ ,  $\delta l_0$  и  $C_0$  взять равным половине единицы последнего разряда, представленного в числе,  $\delta l_1 = \dots$ дм,  $\delta l_0 = \dots$ дм, и  $\delta C_0 = \dots$

9. Абсолютная систематическая ошибка

$$\delta \langle C \rangle = \gamma \langle C \rangle.$$

10. Абсолютную случайную ошибку  $\Delta \langle C \rangle$  определить по формуле:

$$\Delta \langle C \rangle = t_{a,n} \cdot S_{\langle C \rangle},$$

где  $t_{a,n}$  - коэффициент Стьюдента, находится из таблицы при доверительной вероятности  $\alpha = 0,95$  и числе измерений  $n = 5$ .

Среднеквадратичное отклонение  $S_{\langle C \rangle}$  в определении концентрации раствора вычислить по формуле:

$$S_{\langle C \rangle} = \langle C \rangle \sqrt{\left(\frac{S_{\langle \varphi_0 \rangle}}{\langle \varphi_0 \rangle}\right)^2 + \left(\frac{S_{\langle \varphi_1 \rangle}}{\langle \varphi_1 \rangle}\right)^2}.$$

11. Записать окончательный результат в виде:

$$C = \langle C \rangle \pm (\Delta \langle C \rangle + \delta \langle C \rangle)$$

при доверительной вероятности  $\alpha = 0,95$ .

12. Найти относительную ошибку результата

$$E = \frac{\Delta \langle C \rangle + \delta \langle C \rangle}{\langle C \rangle}.$$

13. Сделать вывод по работе.

### Контрольные вопросы

1. Чем отличается поляризованный свет от естественного?
2. Что называется плоскостью поляризации?
3. Что называется плоскостью колебаний?
4. С помощью каких физических явлений можно получить из естественного света плоскополяризованный?
5. При помощи каких приборов можно получить поляризованный луч?
6. Что называется оптически активным веществом?
7. Чему равна интенсивность света, прошедшего через поляризатор и анализатор?

### Список литературы

1. Борисовский, В.В. Краткий курс физики. Часть 3. Оптика: Учеб. пособ. для студентов всех форм обучения технических направлений/ В.В. Борисовский. - Рубцовск: РИИ, 2013. - 66 с.
2. Валишев, М.Г. Курс общей физики / М.Г. Валишев, А.А. Повзнер. — СПб. : Лань, 2010. — 574 с. [ЭР] (<http://e.lanbook.com/help/>).
3. Савельев, И.В. Курс общей физики: В 4 т.: Т. 3 [текст]/ И.В. Савельев. - М.: Кнорус, 2009. - 359 с.

### Лабораторная работа № 6

#### «СРАВНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ СВЕТОВОЙ ОТДАЧИ ЛАМПЫ НАКАЛИВАНИЯ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ ЛАМПЫ»

**Приборы и принадлежности:** лампа люминесцентная, лампа накаливания, фотоэлемент, микроамперметр.

**Цель работы:** сравнить коэффициент световой отдачи лампы накаливания и люминесцентной лампы.

## Теория метода и описание установки

Одной из характеристик источников света, определяющих их экономичность, является коэффициент световой отдачи « $K$ », равный  $K = \frac{\Phi}{P}$ , где  $\Phi$  – полный световой поток лампы,  $P$  – потребляемая мощность (указана на лампах). Чтобы распределение в пространстве светового потока от люминесцентной лампы было близко к распределению лампы накаливания, концы люминесцентной трубки закрыть непрозрачными бумажными колпачками, оставляя открытой в середине примерно 1/5 часть трубки. При этом световой поток, излучаемой открытой частью трубки, будет равен:

$$\Phi = 4\pi R^2 E,$$

где  $E$  – освещенность;

$R$  – расстояние от источника света.

Коэффициент световой отдачи люминесцентной лампы равен

$$K_1 = \frac{4\pi R_1^2 E}{P_1},$$

где  $P_1 = P/5$ , т.к. 4/5 лампы закрыто.

Коэффициент световой отдачи лампы накаливания

$$K_2 = \frac{4\pi R_2^2 E}{P_2}.$$

Отношение коэффициентов  $K_1$  и  $K_2$  будет равно:

$$\eta = \frac{K_1}{K_2} = \frac{4\pi R_1^2 E P_2}{4\pi R_2^2 E P_1} = \frac{R_1^2 P_2}{R_2^2 P_1}, \quad (6.1)$$

где  $P_2$  – мощность лампы накаливания (указана на лампе);

$P_1 = 1/5$  от мощности люминесцентной лампы.

## Порядок выполнения работы

1. Наденьте на лампу колпачки из черной бумаги так, чтобы в середине осталась открытой 1/5 часть трубки. Белую панель за открытой частью лампы также закройте черной бумагой, чтобы устранить отражение от нее света.

2. Закрепите фотоэлемент на штативе и соедините его с микроамперметром.

3. После включения лампы в сеть расположите фотоэлемент против середины лампы. Расстояния между лампой и фотоэлементом подберите такие, при которых микроамперметр показывал бы сначала 100 мкА, затем 80, 60 мкА и т.д. При этом следите, чтобы фотоэлемент был на одном уровне с лампой, а его поверхность освещалась полностью и равномерно. Значения расстояний занесите в таблицу 6.1.

Таблица 6.1

$I$ , мкА	$R_1$ , мм	$R_2$ , мм	$\eta_i$	$\langle \eta \rangle$	$\langle \eta \rangle - \eta_i$	$(\langle \eta \rangle - \eta_i)^2$
100						
80						
60						
40						
20						

4. Включите лампу накаливания, установив фотоэлемент на одной высоте с этой лампой.

5. Перемещая лампу, подберите такие расстояния между лампой и фотоэлементом, чтобы показания микроамперметра повторяли показания, полученные в опытах с первой лампой. Значения расстояний занесите в таблицу.

6. По результатам каждого измерения вычислите отношение коэффициентов световой отдачи ламп по формуле (6.1).

7. Найдите среднее значение величины  $\langle \eta \rangle$  и оцените среднеквадратичное отклонение этой величины по формуле

$$S_{\langle \eta \rangle} = \sqrt{\frac{\sum (\langle \eta \rangle - \eta_i)^2}{n(n-1)}}.$$

8. Определите относительную систематическую ошибку  $\gamma$  в определении величины  $\langle \eta \rangle$  по формуле

$$\gamma = \frac{\delta \langle \eta \rangle}{\langle \eta \rangle} = \sqrt{\left(\frac{\delta P_1}{P_1}\right)^2 + \left(\frac{\delta P_2}{P_2}\right)^2 + \left(\frac{2\delta \delta_1}{R_1}\right)^2 + \left(\frac{2\delta \delta_2}{R_2}\right)^2},$$

где  $\delta P_1 = \delta P_2 = 0,5$  Вт;  $\delta R_1 = \delta R_2$  – принять равной половине цены деления линейки.

9. Абсолютная систематическая ошибка  $\delta \langle \eta \rangle$  равна:

$$\delta \langle \eta \rangle = \gamma \langle \eta \rangle.$$

10. Абсолютную случайную ошибку  $\Delta \langle \eta \rangle$  оценить по формуле

$$\Delta \langle \eta \rangle = t_{a,n} \cdot S_{\langle \eta \rangle},$$

где  $t_{a,n}$  – коэффициент Стьюдента, находится по таблице при  $a = 0,95$ .

11. Записать окончательный результат в виде

$$\eta = \langle \eta \rangle \pm (\Delta \langle \eta \rangle + \delta \langle \eta \rangle).$$

12. Найти относительную ошибку результата:

$$E = \frac{\Delta \langle \eta \rangle + \delta \langle \eta \rangle}{\langle \eta \rangle}.$$

### Контрольные вопросы

1. Каковы устройства и принцип действия люминесцентной ртутно-аргоновой лампы? Других источников света?

2. Почему коэффициент световой отдачи люминесцентной лампы больше, чем у лампы накаливания?
3. Почему в этой работе используется 1/5 часть люминесцентной трубки?
4. Сформулировать основные законы теплового излучения тел.

### Список литературы

1. Борисовский, В.В. Краткий курс физики. Часть 3. Оптика: Учеб. пособ. для студентов всех форм обучения технических направлений/ В.В. Борисовский. - Рубцовск: РИИ, 2013. - 66 с.
2. Валишев, М.Г. Курс общей физики / М.Г. Валишев, А.А. Повзнер. — СПб. : Лань, 2010. — 574 с. [ЭР] (<http://e.lanbook.com/help/>).
3. Савельев, И.В. Курс общей физики: В 4 т.: Т. 3 [текст]/ И.В. Савельев. - М.: Кнорус, 2009. - 359 с.

### Лабораторная работа № 7

#### «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ РАСТВОРОВ С ПОМОЩЬЮ РЕФРАКТОМЕТРА»

**Приборы и принадлежности:** рефрактометр (УРЛ), набор растворов известной и неизвестной концентрации.

**Цель работы:** а) с помощью рефрактометра измерить показатели преломления растворов глицерина известных концентраций и построить график зависимости показателя преломления  $n$  от концентрации «D»; б) измерить на рефракторе показатель преломления раствора неизвестной концентрации и по графику определить его концентрацию.

#### Теория метода и описание установки

Показатель преломления является важной характеристикой оптически прозрачных жидкостей и твердых тел и зависит от химической структуры, концентрации и плотности исследуемого тела. Для быстрого определения показателя преломления применяются приборы, называемые рефрактометрами. Действие рефрактора основано на измерении предельного угла полного внутреннего отражения на плоской границе раздела известного и исследуемого вещества. Шкала зрительной трубки проградуирована на основании формулы предельного преломления и хода предельных лучей, вышедших из измерительной призмы

$$n = n_0 \sin i_{\text{пр}},$$

где  $i_{\text{пр}}$  – предельный угол преломления;  
 $n_0$  – показатель преломления стекла призмы;  
 $n$  – показатель преломления исследуемого вещества.

### Порядок выполнения работы

1. Перед выполнением работы открыть камеру измерительной призмы 2 (рис.10) и проверить чистоту поверхности призмы. Загрязнения и пыль осторожно удалить ватой или салфеткой.

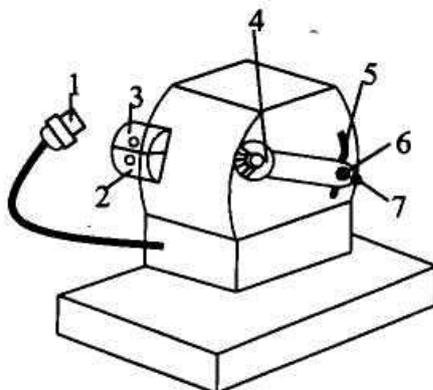


Рис. 10

2. Направить свет на осветительную призму 3 (верхняя камера) с помощью осветителя 1.

3. Открыть камеру измерительной призмы и при помощи капельницы нанести 1-2 капли исследуемого раствора в центр призмы.

4. Поворотом осветителя 1 добиться наилучшей освещенности поля зрения и установить окуляр 6 на отчетливую видимость. При этом в поле зрения должно быть отчетливо видно перекрестие.

5. Вращая маховичок компенсатора 4, добиться полного уничтожения дисперсионной окраски границы раздела светотени и ее резкой видимости.

6. С помощью рукоятки 7 точно установить перекрестие на границу светлого и темного полей и произвести отсчет по шкале, расположенной слева в поле зрения.

7. Осторожно удалить исследованный раствор с поверхности призмы.

Все вышеуказанное проделать с растворами всех концентраций три раза.

Результаты занести в таблицу 7.1.

Таблица 7.1

№	$D, \%$	№	$n_p$	$\langle n_D \rangle$
1		1		
		2		
		3		
2		1		
		2		
		3		
3		1		
		2		
		3		

8. По средним значениям  $\langle n_D \rangle$  построить график  $n_D = f(D)$ .

9. Произвести аналогичные измерения с раствором неизвестной концентрации. Результаты занести в таблицу и по графику определить его концентрацию.

### Контрольные вопросы

1. Относительный и абсолютный показатель преломления и их физический смысл.
2. Явление полного внутреннего отражения.
3. Методика измерений.

### Список литературы

1. Борисовский, В.В. Краткий курс физики. Часть 3. Оптика: Учеб. пособ. для студентов всех форм обучения технических направлений/ В.В. Борисовский. - Рубцовск: РИИ. 2013. - 66 с.
2. Валишев, М.Г. Курс общей физики / М.Г. Валишев, А.А. Повзнер. — СПб. : Лань, 2010. — 574 с. [ЭР] (<http://e.lanbook.com/help/>).
3. Савельев, И.В. Курс общей физики: В 4 т.: Т. 3 [текст]/ И.В. Савельев. - М.: Кнорус, 2009. - 359 с.

## Лабораторная работа № 8

### «ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ОКРАШЕННЫХ РАСТВОРОВ ФОТОКОЛОРИМЕТРОМ»

**Приборы и принадлежности:** фотоэлектрический колориметр ФЭК – 60, набор растворов различной концентрации.

**Цель работы:** а) градуировать шкалу оптической плотности, для чего измерить оптические плотности растворов известных концентраций и построить градуировочный график  $D = f(C)$ ; б) с помощью полученного графика определить концентрацию неизвестного раствора.

### Теория метода и описание работы

При прохождении света через окрашенные растворы интенсивность света ослабевает по закону Бугера:

$$I = I_0 e^{-kl},$$

где  $I_0$  – интенсивность падающего на вещество света;

$I$  – интенсивность света, прошедшего слой вещества толщиной  $l$ ;

$k = \chi c$  – закон Бера – коэффициент поглощения света пропорционален концентрации растворенного вещества « $C$ »;  $\chi$  – удельный показатель поглощения.

Отношение  $\frac{I}{I_0} = \tau$  называется *коэффициентом светопропускания*,

величина  $\lg\left(\frac{I_0}{I}\right) = \lg\left(\frac{1}{\tau}\right) = D$  называется *оптической плотностью вещества*, которая равна:

$$D = 0,43 \cdot lC, \quad (8.1)$$

то есть оптическая плотность ( $D$ ) вещества пропорциональна концентрации ( $C$ ) окрашенных растворов. Эта пропорциональность используется для определения концентрации окрашенных растворов с помощью фотоколориметра.

Фотоколориметр ФЭК-60 работает на принципе уравнивания интенсивности двух световых потоков с помощью щелевой диафрагмы, соединенной с барабаном, на котором нанесены две шкалы: шкала коэффициентов светопропускания (черная) и шкала оптической плотности (красная). Связь между делениями обеих шкал определяется формулой:

$$D = \lg\left(\frac{1Cl}{\tau}\right). \quad (8.2)$$

Шкала нанесена таким образом, что максимальное раскрытие щелевой диафрагмы соответствует 100 % светопропускания, полное её закрытие - 0 %.

### **Порядок выполнения работы**

1. Включить прибор (прибор работает стабильно спустя 10-15 мин.).
2. Пред измерениями необходимо провести «электрический нуль», для этого закрыть измерительную и компенсационную диафрагмы. Вращением в ту или другую сторону рукоятки потенциометра (слева внизу) добиться нулевого положения стрелки микроамперметра.
3. Открыть крышку прибора (сверху), вынуть и заполнить две из имеющихся трех кювет растворителем (дистиллированной водой). Третью кювету заполнить 4-процентным раствором медного купороса.
4. В правый и левый пучки света поместить кюветы с растворителем.
5. Барабаном, расположенным с левой стороны прибора, ввести желтый или зеленый светофильтр.
6. Барабан измерительной диафрагмы установить на отсчет 100 по шкале светопропускания. Левым барабаном компенсационной диафрагмы произвести уравнивание обоих световых потоков. Стрелка микроамперметра должна установиться на нуль.
7. В левое плечо прибора вместо кюветы с растворителем поместить кювету с раствором: при этом стрелка микроамперметра отклонится от нулевого положения. Вращением первого измерительного барабана вновь установить стрелку микроамперметра на нуль.
8. Значение коэффициента светопропускания снять по черной шкале барабана измерительной диафрагмы. Результаты измерений занести в таблицу 8.1.

9. Все вышеуказанное провести для всех растворов, включая  $X\%$ , трижды. По полученным данным найти среднее значение коэффициентов пропускания для каждого раствора.

10. Величину оптической плотности раствора ( $D$ ) определить по формуле (8.2).

Таблица 8.1

$C, \%$		4	8	12	16	20	$X_1, \%$	$X_2, \%$
$\tau$	1							
	2							
	3							
	ср							
$D$	1							
	2							
	3							
	ср							

11. По полученным данным построить график  $D = f(c)$ , где  $C$  – концентрация раствора. Для построения градуировочной кривой следует откладывать по горизонтальной оси известные концентрации, а по вертикальной – соответствующие им значения оптической плотности.

12. Из графика – концентрацию  $X\%$  раствора.

При определении концентрации вещества в растворе следует соблюдать следующую последовательность в работе: выбор светофильтра; выбор кюветы; построение градуировочной кривой для данного вещества.

### Контрольные вопросы

1. Поглощение света веществом.
2. Каков механизм рассеяния света в мутной среде, в чистой воде?
3. Оптическая схема и принцип действия фотоколориметра.

### Список литературы

1. Борисовский, В.В. Краткий курс физики. Часть 3. Оптика: Учеб. пособ. для студентов всех форм обучения технических направлений/ В.В. Борисовский. - Рубцовск: РИИ. - 66 с.
2. Валишев, М.Г. Курс общей физики / М.Г. Валишев, А.А. Повзнер. — СПб. : Лань, 2010. — 574 с. [ЭР] (<http://e.lanbook.com/help/>).
3. Савельев, И.В. Курс общей физики: В 4 т.: Т. 3 [текст]/ И.В. Савельев. - М.: Кнорус, 2009. - 359 с.



Борисовский Василий Васильевич  
Бахмат Владимир Ильич

## ОПТИКА

Методические указания к лабораторным работам  
по физике для студентов технических направлений  
всех форм обучения

Редактор Е.Ф. Изотова

Подписано к печати 14.12.15. Формат 60x84/16.  
Усл. печ. л. 1,94. Тираж 50 экз. Зак. 151510. Рег. №140.

Отпечатано в ИТО Рубцовского индустриального института  
658207, Рубцовск, ул. Тракторная, 2/б.