МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДАРАЦИИ
ДЕПАРТАМЕНТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКИЙ ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ-ФИЛИАЛ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» В Г. ЗЕРНОГРАДЕ

Кафедра технической механики и физики

# ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ПРОГРАММАМ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Часть 5. Геометрическая, волновая и квантовая оптика

Зерноград - 2024

© Леонтьев Н.Г., Белоусов А.В.,
Гуриненко Л.А., Портаков А.Б.
© Азово-Черноморский
инженерный институт
ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2024

*Об издании – 1,2*
*Содержание*

*Издается по решению методической комиссии*
*по специальностям среднего профессионального образования*
*социально-экономического и технического профиля*
*Азово-Черноморского инженерного института*
*ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет»*
*в г. Зернограде.*

**Рецензенты:**
кандидат технических наук, доцент Г.В. Степанчук
кандидат технических наук, доцент А.Б. Портаков

**Леонтьев Н.Г.** Лабораторный практикум по физике для обучающихся по программам СПО. [Электронный ресурс]: Часть 5. Геометрическая, волновая и квантовая оптика / Н.Г. Леонтьев, А.В. Белоусов, Л.А. Гуриненко, А.Б. Портаков. - Электронное издание. Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2024. – 23 с. – Режим доступа: Локальная сеть Библиотеки Азово-Черноморского инженерного института ФГБОУ ВО Донской ГАУ.

Учебное пособие «Лабораторный практикум по физике для обучающихся по программам среднего профессионального образования Часть 5. Геометрическая, волновая и квантовая оптика» предназначено для студентов 1 курса СПО, обучающихся по специальностям 08.02.09, 21.02.19, 23.02.07, 35.02.05, 35.02.08, 35.02.16, 38.02.01, 38.02.08

Рекомендовано к изданию Методическим советом факультета среднего профессионального образования Протокол № 8 от 26.04.2024 г.

© Леонтьев Н.Г., Белоусов А.В.,
Гуриненко Л.А., Портаков А.Б.
© Азово-Черноморский
инженерный институт
ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2024

# Оглавление

ВВЕДЕНИЕ .....4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 51 - СПО.....5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 52 - СПО.....8
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 53 - СПО.....10
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 54 - СПО.....12
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 55 - СПО.....16
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 56 - СПО.....18

# ВВЕДЕНИЕ

Критерием успешного освоения физики является умение использовать полученные знания на практике. Поэтому важно не только знать теоретический материал, но и уметь объяснить явления природы, проводить опыты и решать физические задачи.

Цель данного учебного пособия – приобщить студентов к самостоятельной творческой работе, в процессе которой они научатся анализировать физические явления, выделять главные факторы, определяющие, тот или иной физический процесс, выбирать метод решения задачи.

Учебное пособие предназначено для обучения по следующим специальностям: 08.02.09 - Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования промышленных и гражданских зданий, 21.02.05 - Земельно-имущественные отношения, 21.02.19 - Землеустройство, 23.02.07 - Техническое обслуживание и ремонт двигателей, систем и агрегатов автомобилей, 35.02.08 - Электротехнические системы в агропромышленном комплексе (АПК), 38.02.01 - Экономика и бухгалтерский учет (по отраслям), 38.02.04 - Коммерция (по отраслям).

Часть 5. Геометрическая, волновая и квантовая оптика содержит 6 лабораторных работ.

Учебное пособие полностью соответствует программе по физике для учреждений среднего профессионального образования. Оно может быть полезно также учащимся средних школ, лицеев и колледжей.

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 51 - СПО

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ ТОНКОЙ ЛИНЗЫ ПО ФОРМУЛЕ ЛИНЗЫ

Цель работы: изучение закономерностей в простых оптических системах.

Приборы и принадлежности: оптическая скамья с рейтерами, линза, экран, осветитель.

## КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Идеальной оптической системой называют такую, которая дает изображение, геометрически подобное предмету. Идеальная оптическая система с достаточным приближением может быть реализована в виде центрированной системы, центры поверхностей которой лежат на одной прямой - главной оптической оси. Примером центрированной системы является линза – важнейшая деталь многих оптических приборов.

Линзой называется оптически прозрачное тело, ограниченное с двух сторон сферическими (цилиндрическими, плоскими) поверхностями радиусов кривизны $R_1$ и $R_2$.

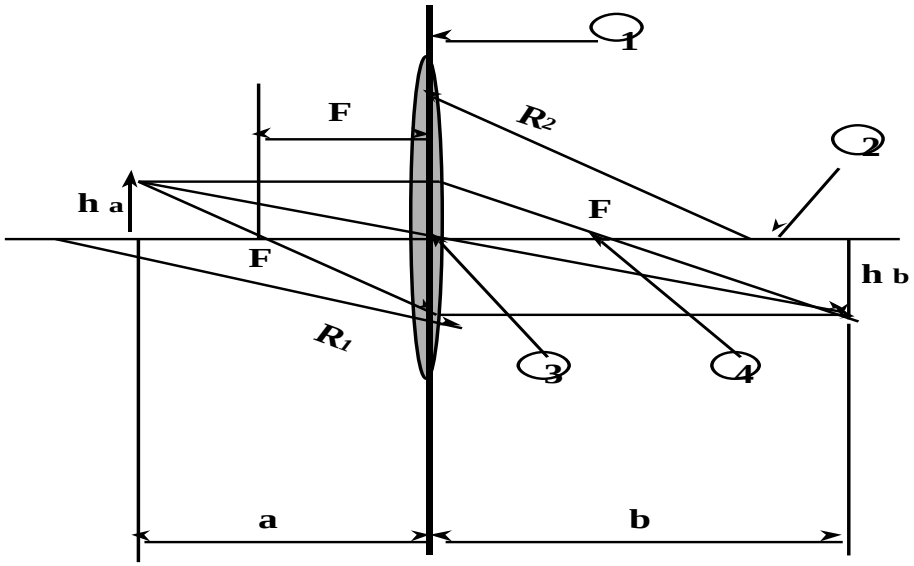



Рис.51.1

На рис.51.1 показаны кардинальные элементы линзы: главная плоскость (1); главная оптическая ось (2), проходящая через оптический центр (3), перпендикулярная главной плоскости и являющаяся осью симметрии системы; симметрично расположенные относительно оптического центра и лежащие на главной оптической оси главные фокусы (4). Лучи, проходящие до линзы через фокусы, после линзы идут параллельно оптической оси и наоборот. Плоскости, перпендикулярные главной оптической оси и проходящие через фокусы, называются фокальными плоскостями.

Линза считается тонкой, если расстояние между сферическими поверхностями вблизи оптического центра (в наиболее толстой части) много меньше радиусов ее

кривизны (рис.51.1). Для такой линзы фокусное расстояние F можно найти по формуле

$$1/F = (n_2/n_1 -1)\,(1/R_1 + 1/R_2), \qquad /51.1/$$

где $n_2$ - абсолютный показатель преломления линзы; $n_1$ – абсолютный показатель преломления среды, окружающей линзу.

Расстояние от предмета до линзы (a), расстояние от изображения до линзы (b) и фокусное расстояние F (рис.51.1), связаны формулой линзы

$$1/F = 1/a + 1/b \qquad /51.2/$$

Эта формула является приближенной. Она справедлива для лучей, идущих под небольшими ($\alpha<8^o$) углами к главной оси (такие лучи называются параксиальными). Кроме того, она справедлива, строго говоря, для монохроматических лучей.

Если пучок лучей немонохроматический, то вследствие зависимости показателя преломления от длины волны имеет место хроматическая аберрация (наблюдается несколько смещенных друг относительно друга изображений различного цвета - изображение становится нерезким и окрашенным). В связи с этим желательно на осветитель ставить светофильтр.

Формула /51.2/ справедлива для тонких линз, причем величины F, a и b отсчитываются от оптического центра линзы. В практических измерениях делается ошибка порядка толщины линзы.

Изображение называется действительным, если оно построено на действительно идущих лучах, и мнимым, если оно построено на продолжениях действительно идущих лучей. Изображение бывает прямым и перевернутым.

Увеличением линзы Г называется отношение высоты изображения $h_b$ к высоте предмета $h_a$, причем справедливо соотношение

$$Г= h_b/h_a=b/a. \qquad /51.3/$$

При Г>1 изображение увеличенное, при Г<1 - уменьшенное.

Фокусное расстояние линзы определяется следующим способом.

Производятся измерения a и b, и фокусное расстояние вычисляется с помощью формулы линзы /51.2/. Одновременно, измеряя размер изображения и предмета, определяют увеличение линзы. При этом существенно, чтобы указатель на рейтере располагался против центра линзы.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1.Перед началом измерений центры предмета (стрелки на матовой бумаге осветителя), линзы и экрана установите на одной высоте относительно оптической скамьи. Плоскости предмета, линзы и экрана установите перпендикулярно оптической оси, параллельной оптической скамье.

2.Отсчет расстояний между элементами оптической системы производите по линейке, имеющейся на оптической скамье, с помощью указателей на рейтерах с точностью ± 1 мм.

3.Установите экран на расстоянии L = 0,75 ... 0,90 м от предмета.

4.Перемещая линзу вдоль скамьи, получите резкое изображение предмета. Полученные значения a, b, $h_a$ (измеряется линейкой) и $h_b$ (измеряется с помощью миллиметровой бумаги на экране) занесите в таблицу результатов наблюдений 5. Из-

мерения по п.2,3 повторите 6...8 раз, изменяя величину L и выполняя измерения как при увеличенном, так и при уменьшенном изображении.

6.Произведите вычисления F по формуле /51.2/. Рассчитайте значение $F_{ср}$.

7.Рассчитайте значение Fср,среднюю абсолютную $\Delta F_{CP}$ и среднюю относительную $\varepsilon_{CP}$ погрешности измерения фокусного расстояния линзы по формулам

$$\Delta F_{cp} = t_{\alpha,n}\sqrt{\frac{\sum(\Delta F_i)^2}{n(n-1)}}\,. \qquad \varepsilon_N = \frac{\Delta F_{CP}}{F_{CP}}100\% \qquad /51.4/$$

Значение надежности $\alpha$ выберите по заданию преподавателя $\alpha$= , а значение коэффициента $t_{\alpha,n}$= выберите по таблице с помощью преподавателя. Результаты запишите в таблицу результатов наблюдений.

8.Справедливость формулы /51.2/ можно проверить графически, откладывая точки в координатах 1/a и 1/b. Полученный график отсечет на обеих осях отрезки, равные 1/F.

9.Рассчитайте увеличение линзы по обоим вариантам формулы /51.3/ и занесите в таблицу результатов наблюдений. Для каждого из положений предмета, линзы и экрана эти значения должны быть близки.

10. Запишите окончательный результат в виде $F = F_{ср} \pm \Delta F_{ср}$, $\varepsilon$ = ....%.

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

| N п/п | a, м | b, м | F, м | Δ F,м | $(\Delta F)^2$, м | Γ= b/a | $h_b$, м | $h_b$, м | $\Gamma=h_b/h_a$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | |
| | | | $F_{ср}$= | | $\Sigma(\Delta F)^2$= | | | | |

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое линза? При каком условии линзу можно считать тонкой?
2. Покажите на чертеже кардинальные элементы линзы.
3. Сформулируйте правила построения изображений в линзе и покажите на чертеже, как они выполняются.
4. Запишите формулу для определения фокусного расстояния линзы.
5. Запишите формулу тонкой линзы. При каких условиях она справедлива?
6. Как классифицируются изображения в линзах?
7. Как определить увеличение тонкой линзы?

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 2014. – 446 с. §18.1, 18.2, 18.4.

2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 11 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, В.М. Чаругин. – М.: Просвещение, 2014. - § 47, 50,51

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 52 - СПО

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ ТОНКОЙ ЛИНЗЫ ПО ИЗМЕРЕНИЮ УВЕЛИЧЕННОГО И УМЕНЬШЕННОГО ИЗОБРАЖЕНИЙ

Цель работы: изучение закономерностей в простых оптических системах.

Приборы и принадлежности: оптическая скамья с рейтерами, линза, экран, осветитель.

### КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Теория тонкой линзы изложена в лабораторной работе №51. Для такой линзы фокусное расстояние F можно найти по формуле

$$1/F = (n_2/n_1 - 1)(1/R_1 + 1/R_2), \qquad /52.1/$$

где $n_2$ - абсолютный показатель преломления линзы; $n_1$ – абсолютный показатель преломления среды, окружающей линзу.

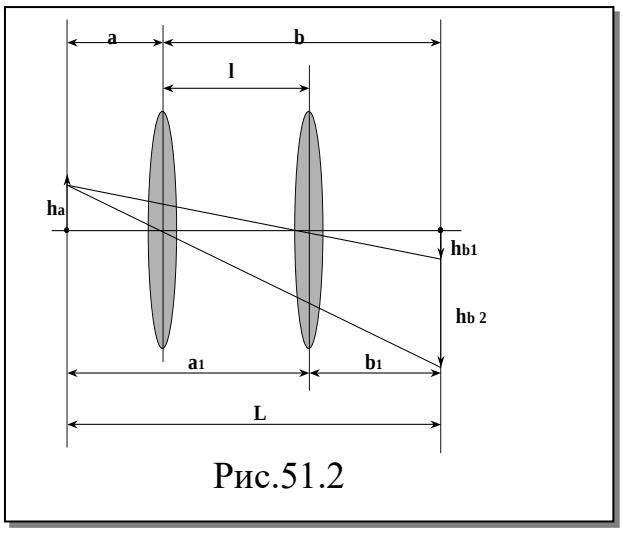


Рис.51.2

Расстояние от предмета до линзы (a), расстояние от изображения до линзы (b) и фокусное расстояние F (рис.52.1), связаны формулой тонкой линзы

$$1/F = 1/a + 1/b \qquad /52.2/$$

Формула /52.2/ справедлива для тонких линз, причем величины F, a и b отсчитываются от оптического центра линзы. В практических измерениях делается ошибка порядка толщины линзы.

В данной лабораторной работе фокусное расстояние линзы определяют следующим способом. Пусть расстояние между предметом и экраном L достаточно велико (L>4F). При этом найдутся два положения линзы, при которых наблюдаются увеличенное и уменьшенное изображения линзы (рис.52.1), (a и b соответствуют увеличенному изображению, $a_1$ и $b_1$ – уменьшенному). Из закона обратимости световых пучков (симметрии предмета и изображения) вытекает, что $a=b_1$, $a_1=b$.

Согласно рис.52.1 $a+b=a_1+b_1=L.$ /52.3/

Откуда $a=(L-1)/2,\ b = (L+1)/2.$ /52.4/

Подставляя эти выражения в /52.2/ получим

$$F=(L^2 - 1^2) / 4L. \qquad /52.5/$$

При измерении таким способом несовпадение указателя рейтера и центра линзы не сказывается на результате.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1.Перед началом измерений центры предмета (его роль играет стрелка на матовой бумаге осветителя), линзы и экрана установите на одной высоте относительно оптической скамьи. Плоскости предмета, линзы и экрана установите перпендикулярно оптической оси, параллельной оптической скамье.
2.Отсчет расстояний между элементами оптической системы производится по линейке, нанесенной на оптической скамье с помощью указателей на рейтерах с точностью ± 1 мм.
3.Установите экран на расстоянии L=0,90 ... 1,10 м от предмета. Перемещая линзу вдоль скамьи, получить резкие увеличенное и уменьшенное изображения предмета. Полученные значения L, *a* для увеличенного и $a_1$ для уменьшенного изображения предмета занесите в таблицу результатов наблюдений. Измерения повторить 6...8 раз, изменяя величину L.
4.Вычислите значения $l = a_i - a$ и значения F по формуле /52.6/.
5. Рассчитайте значение Fср, среднюю абсолютную $\Delta F_{CP}$ и среднюю относительную $\varepsilon_{CP}$ погрешности измерения фокусного расстояния линзы по формулам

$$\Delta F_{cp} = t_{\alpha,n}\sqrt{\frac{\sum(\Delta F_i)^2}{n(n-1)}}. \qquad /52.6/ \qquad \varepsilon_N = \frac{\Delta F_{CP}}{F_{CP}}100\% \qquad /52.7/$$

Значение надежности $\alpha$ выберите по заданию преподавателя $\alpha$= , а значение коэффициента $t_{\alpha,n}$= выберите по таблице с помощью преподавателя. Результаты запишите в таблицу результатов наблюдений. Запишите окончательный результат в виде $F = F_{ср} \pm \Delta F_{ср} =$ ± , ε = ....%.

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

| $N_{опыта}$ | L, м | a, м | $a_1$, м | $l=a_1-a$, м | F, м | Δ F,м | $(\Delta F)^2$, м$^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | $F_{ср}$= | | $\Sigma(\Delta F_i)^2$= |

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое линза? При каком условии линзу можно считать тонкой?
2. Покажите на чертеже кардинальные элементы линзы.
3. Сформулируйте правила построения изображений в линзе и покажите на чертеже, как они выполняются.
4. Запишите формулу для определения фокусного расстояния линзы.
5. Запишите формулу тонкой линзы. При каких условиях она справедлива?
6. Как классифицируются изображения в линзах?
2. Как определить увеличение тонкой линзы?

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 2014. – 446 с. §18.1, 18.2, 18.4.

2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 11 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, В.М. Чаругин. – М.: Просвещение, 2014. - § 47, 50,51

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 53 - СПО.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ СТЕКЛА С ПОМОЩЬЮ ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ПЛАСТИНЫ

Цель работы: изучение законов геометрической оптики.

Приборы и принадлежности: плоскопараллельная пластина из стекла или оргстекла, лазерный осветитель или лазерная ручка, штангенциркуль, миллиметровая бумага, шпильки, скрепки.

### КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Геометрической оптикой называется раздел физики, описывающий законы распространения электромагнитных волн (обычно света в видимой глазом области), справедливые при предположении, что длина волны стремится к нулю $\lambda \to 0$.

Закон прямолинейного распространения света: в однородной среде луч света распространяется прямолинейно.

Закон независимости световых пучков: эффект, производимый одним световым лучом не зависит от действия других лучей.

Закон обратимости световых лучей: если луч А, падая на оптическую систему, порождает луч В, выходящий из системы, то, направив на систему луч С по лучу В в обратном направлении, на выходе получим луч D, идущий по лучу А в обратном направлении (см. рис. 53.1).

Отметим, что здесь мы рассматриваем идеальные оптические системы, когда на один падающий на систему луч возникает один выходящий из системы луч.

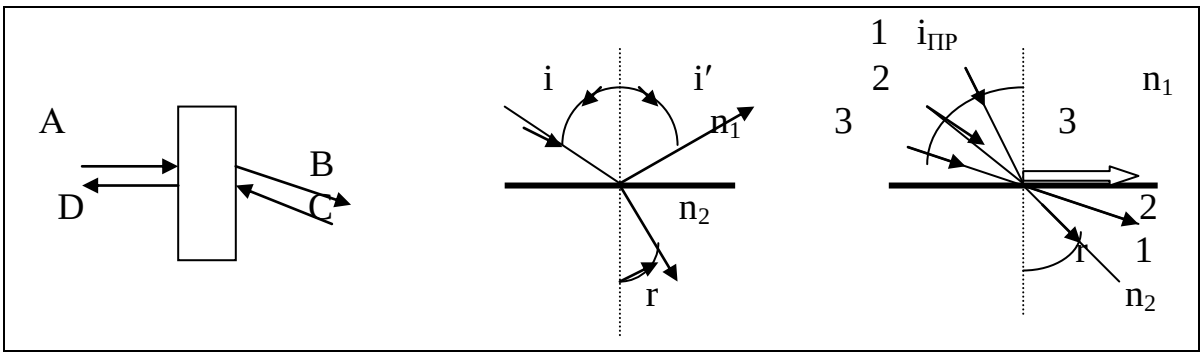



Рис.53.1




Рис.53.2




Рис.53.3

Закон отражения: луч падающий, луч отраженный и перпендикуляр к границе раздела сред в точке падения лежат в одной плоскости, углы отсчитываются от перпендикуляра, угол падения i равен углу отражения i', т.е. i=i' (рис.53.2).

Закон преломления Снеллиуса-Декарта: луч падающий, луч преломленный и перпендикуляр к границе раздела сред в точке падения лежат в одной плоскости, углы отсчитываются от перпендикуляра, отношение синуса угла падения к синусу угла преломления г для данной пары сред - величина постоянная (см. рис.53.2).

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n_{21} = \frac{n_2}{n_1}, \qquad /53.3/$$

где $n_{21}$ – относительный показатель преломления пары сред с абсолютным показателем преломления среды, откуда луч выходит ($n_1$) и абсолютным показателем преломления среды, куда луч входит ($n_2$ ). Если свет падает из воздуха $n_1=1$, то формула /53.3/ позволяет вычислить абсолютный показатель преломления среды, куда луч входит $n_2$

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n_2, \qquad /53.4/$$

Отметим, что углы падения и преломления отсчитываются от перпендикуляра к границе раздела сред в точке падения.

Если $n_1>n_2$, то угол преломления больше угла падения. Тогда при некотором $i_{ПР}$, когда $r=\pi/2$ и $\sin r=1$, наблюдается явление полного внутреннего отражения. В этом случае свет не выходит во вторую среду и распространяется по границе раздела сред (рис.53.3).

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Накройте резиновый коврик листом миллиметровой бумаги и закрепите его четырьмя скрепками.

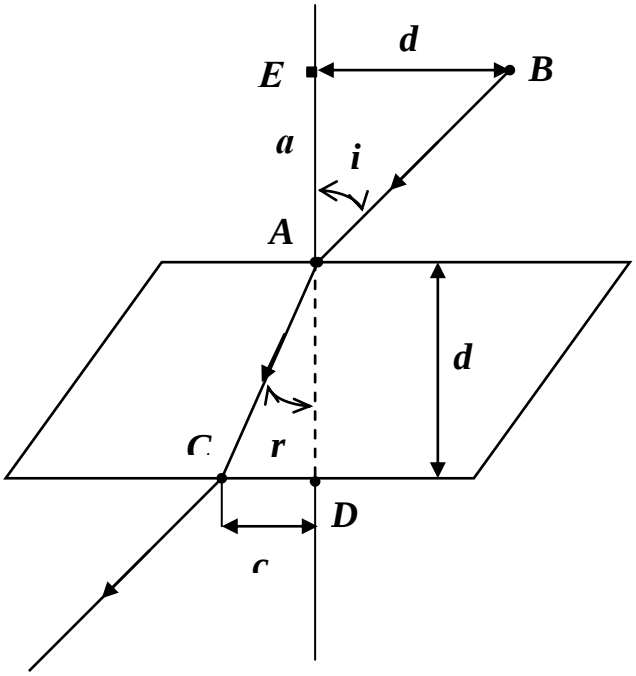



Рис.53.4

2. Отметьте точки А, В и Д шпильками.
3. Включите лазер и направьте луч на плоскопараллельную пластину вдоль направления АВ.
4. Отметьте шпилькой место С выхода луча из плоскопараллельной пластины.
5. Штангенциркулем измерьте отрезки FB=b, FA=a, CD=c и толщину плоскопараллельной пластины d.
6. Повторите 5-6 раз измерения по пп.2-4, меняя положение шпильки В. Занесите полученные величины в таблицу результатов наблюдений.
7. Из рис.53.4 следует, что формула 53.3 приобретает вид

.

$$n = \sqrt{\frac{1+\left(\frac{d}{c}\right)^2}{1+\left(\frac{a}{b}\right)^2}} \qquad /53.5/$$

8. По формуле /53.5/ вычислите абсолютный показатель преломления материала пластины n. Вычислите его среднее значение $n_{CP}$.

9. Рассчитайте средние абсолютную и относительную погрешности измерения абсолютного показателя преломления материала по формулам /53.6/ и /53.7/

$$\Delta n_{CP} = tg(\alpha, m)\sqrt{\frac{\sum \Delta n_i^2}{m(m-1)}}. \qquad /53.6/ \qquad \varepsilon_N = \frac{\Delta n_{CP}}{n_{CP}} 100\% \qquad /53.7/$$

Значение надежности $\alpha$=….. выберите по заданию преподавателя, а значение коэффициента $t_{\alpha,m}$= выберите по таблице с помощью преподавателя. Полученные данные запишите в таблицу результатов наблюдений. Запишите окончательный результат в виде $n = n_{ср} \pm \Delta n_{ср} =$ $\pm$ , $\varepsilon$ = ....%.

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

| $a$,мм | $b$,мм | $c$,мм | $d$,мм | $n_i$ | $\Delta n_i$ | $\Delta n_i^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | $n_{CP}$= | $\Delta n_{CP}$= | |

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что изучает геометрическая оптика?
2. Сформулируйте законы геометрической оптики.
3. Сформулируйте правило отсчета углов в геометрической оптике.
4. Что такое абсолютный показатель преломления? Какова его размерность?
5. Что такое относительный показатель преломления? Какова его размерность?
6. От чего зависит абсолютный показатель преломления среды?
7. В чем заключается явление полного внутреннего отражения?

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 2014. – 446 с. §18.2.
2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 11 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, В.М. Чаругин. – М.: Просвещение, 2014. - § 45,47

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 54 - СПО

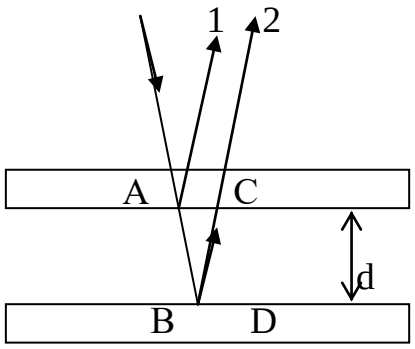
### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИУСА КРИВИЗНЫ СФЕРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Цель работы: наблюдение интерференции на сферической поверхности (колец Ньютона) и определение радиуса кривизны одной из поверхностей линзы.

Приборы и принадлежности: линза на плоской стеклянной пластине в оправе, микроскоп с осветителем отраженного света, объект-микрометр.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

При отражении от тонких слоев некогерентный пучок света расщепляется рис. 54.1 .




3 4

Рис.54.1

Оптическая разность хода Δ лучей 1 и 2, отраженных от верхней и нижней поверхности тонкого слоя равна Δ=2nd+λ/2, где d - толщина пленки, n - абсолютный показатель преломления материала слоя, λ - длина волны падающего света. Условием минимума (ослабления) света при интерференции является

$$\Delta_{min}=(2k+1)\lambda/2, \qquad /54.1/$$

где k - целое число. Эта разность хода соответствует толщине слоя

$$d_{min}=\frac{k\lambda}{2n}. \qquad /54.2/$$

Условия максимума будут иметь вид

$$\Delta_{max}=2k\lambda/2, \quad \text{и} \quad d_{max}=(2k+1)\lambda/2. \qquad /54.3/$$

В данной работе изучается интерференция лучей, отраженных от воздушного клина с n=1 между плосковыпуклой сферической линзой и плоской стеклянной пластинкой. Интерференционная картина, которую они образуют, имеет вид чередующихся темных и светлых концентрических колец с общим центром в полюсе линзы *P* (рис.54.2). Эта картина получила название колец Ньютона.

Пусть нормальный пучок света падает на линзу, лежащую на плоской стеклянной подложке, в точке *A* (рис.54.2). Рассмотрим условие, при котором в точке A отраженные от воздушного клина лучи 1 и 2 будут гасить друг друга, т.е. условие при котором через точку A проходит темное кольцо. Из $\Delta OAB$ следует, что

$$R^2-(R-d)^2=r^2, \qquad /54.4/$$

где *R* - радиус кривизны поверхности линзы; *r* - радиус кольца; *d* - толщина воздушного зазора вблизи точки A.

Из выражения /54.4/ следует, что при d<<R будет выполняться условие

$$r^2=2Rd. \qquad /54.5/$$

Согласно условию минимума /54.3/ радиус k–го темного кольца $r_K$ будет связан с его номером k соотношением

$$r_K^2=R\lambda k, \qquad /54.6/$$

т.е. квадрат радиуса темного кольца Ньютона пропорционален его номеру.

Если линза прижата к подложке так, что она вблизи полюса деформирована, воздушный зазор толщиной $d_K$ окажется дальше от центра, и *k*–е темное кольцо будет иметь больший радиус, чем при отсутствии деформации. Если же между линзой и подложкой будет зазор, радиусы колец будут, наоборот, меньше. Поэтому в общем случае зависимость $r_K$ от $k$ можно записать в виде

$$r_k^2 = R\lambda k + C\,, \qquad /54.7/$$

где С - константа, зависящая от деформации линзы. Формула /54.7/ позволяет определить радиус кривизны поверхности линзы *R,* если известен номер кольца k, длина волны света λ, радиус кольца $r_k$, константа С.

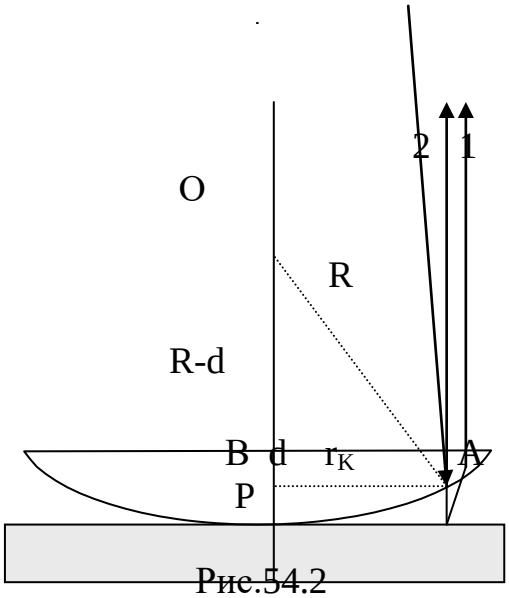



Рис.54.2

Измерения радиусов колец производятся окулярным микрометром и выражаются числом делений его шкалы n. Если цена деления окулярного микрометра равна $C_{ок}$, то радиус кольца будет равен $r=C_{ок}n$. Подставляя в /54.7/, получаем $n_k^2 C_{ок}^2 = R\lambda k + C$, откуда получаем

$$n_k^2 = R\lambda k / C_{ок}^2 + C^{'}, \qquad /54.8/$$

где $C^{'}$ - новая постоянная. Типичные зависимости (1), (2), (3), соответствующие /8/, показаны на рис.54.3.

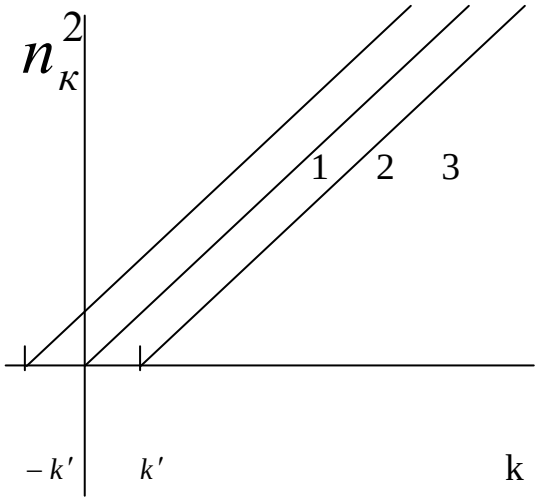



Рис.54.3

Чтобы исключить из расчета константу $C^{'}$, определение которой по графику недостаточно надежно, следует подставить в формулу /54.8/ два значения $k_1$ и $k_2$ и соответствующие им радиусы колец, выраженные в делениях окулярного микрометра - $n_1$ и $n_2$. Вычитая из одного выражения другое, получим расчетную формулу

$$R = \frac{n_2^2 - n_1^2}{k_2 - k_1} \cdot \frac{C_{ОК}^2}{\lambda}. \qquad /54.9/$$

С помощью графика зависимости $n^2$ от k можно определить причину искажений интерференционной картины и найти величину деформации или толщину зазора $d'$. Для этого по графику (рис.54.3) определяется значение $k'$. Из /54.2/ находим, что

$$d' = k'\lambda./\,2. \qquad /54.10/$$

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Поместите на предметный столик микроскопа оправу с линзой на подложке и включите питание осветителя.
2. Вращением или поступательным перемещением оправы окуляра (зависит от его конструкции) добейтесь максимально резкого изображения шкалы окулярного микрометра.
3. Вертикальным перемещением тубуса микроскопа найдите и сделайте резкой интерференционную картину. Перемещением оправы линзы по предметному сто-

лику выведите центр колец как можно точнее на перекрестие диаметральных линий окулярного микрометра.

4. Запишите в таблицу результатов наблюдений номера колец, считая их от центра, и координаты диаметрально противоположных точек этих колец $n_{пр}^{\ k}$ и $n_{л}^{\ k}$ с точностью до половины малого деления шкалы окулярного микрометра. Отсчет координат делайте от нуля шкалы окулярного микрометра. Данные занесите в таблицу результатов наблюдений.

5. Произведите проверку измерений. Для этого рассчитайте суммы $n_{пр}^{\ k}+n_{л}^{\ k}$, которые в идеале должны быть равными. Величину допустимого разброса согласуйте с преподавателем и, если имеется значительное расхождение результатов, повторите измерения.

6. Цену деления шкалы окуляра $C_{ОК}$ и длину волны света запишите по указанию преподавателя.

7. Определите в делениях шкалы окуляра радиусы $n_К$ колец $n_К = \left(n_{ПР}^{k} - n_{Л}^{k}\right)/2$ и их квадраты $n_{л}^{\ 2}$.

8. Постройте график зависимости $n_К^2 = f(k)$ и убедиться в его линейности (рис.54.3). Выберите на графике 2 точки, максимально удаленные друг от друга, и, подставив их координаты в формулу /54.9/, рассчитайте радиус кривизны линзы R. По графику определить искажения интерференционной картины. Найдите $k'$ и по формуле /54.10/ вычислите величину зазора или деформации линзы $d'$.

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

| $k$ | $n_{пр.}$ | $n_{л..}$ | $n_{пр.}+n_{л.}$ | $n_к$ | $n_к^{\ 2}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сформулируйте условия когерентности волн.
2. Что такое геометрическая и оптическая разности хода лучей? В каких единицах они измеряются?
3. Сформулируйте условия максимума и минимума интенсивности при интерференции.
4. Запишите формулу оптической разности хода лучей, отраженных от тонкого слоя.
5. Почему свет, отраженный от плоской поверхности линзы, не участвует в образовании интерференционной картины?
6. Запишите формулу для радиусов колец Ньютона.
7. Как по графику $n^2=f(k)$ можно определить величину деформации линзы?
8. Какие интерференционные схемы существуют?
9. Назовите области применения явления интерференции.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 2014. – 446 с. §19.1, 19.2, 19.3, 19.4.
2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 11 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, В.М. Чаругин. – М.: Просвещение, 2014. - § 54, 55.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 55 - СПО

## ДИФРАКЦИОННАЯ РЕШЕТКА

Цель работы: наблюдения спектра, полученного с помощью дифракционной решетки, и измерение длины волны спектральных линий.

Приборы и принадлежности: дифракционная решетка, оптическая скамья лазерный источник света.

### КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

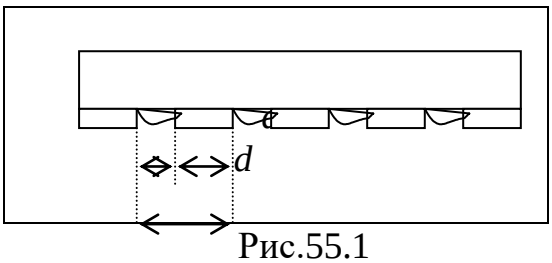


Рис.55.1

Дифракционная решетка представляет собой периодическую структуру в виде пластины, на поверхности которой нанесены с постоянным шагом параллельные штрихи (рис.55.1). Свет проходит только сквозь нетронутые резцом участки, и решетка является системой с параллельными щелями шириной *a*, разделенными непрозрачными промежутками шириной *b*. Период решетки равен $d=a+b$. Вместо периода часто задают число штрихов на единице длины $n=1/d$.

У гол наблюдения максимума дифрагированных лучей $\alpha_к$ определяется формулой дифракционной решетки /55.4/:

$$(a+b)\sin\alpha_k = d\sin\alpha_k = k\lambda\,. \qquad /55.4/$$

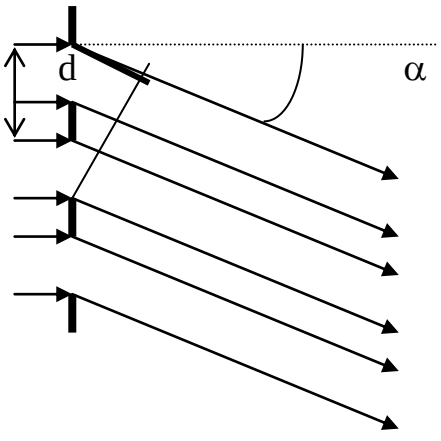


Рис.55.2

Угол наблюдения дифракционного максимума зависит от длины волны. Поэтому при освещении решетки монохроматическим светом лазера дифракционная картина представляет собой систему максимумов, расположенных симметрично относительно центральной (нулевой) полосы, которой соответствует k=0 и $\alpha_0=0$ в /4/ (рис.55.3). По значению k максимумы бывают 1–го, 2–го и т.д. порядков.

В лабораторной работе используется оптическая скамья микролаборатории для выполнения лабораторных работ по оптике школь-

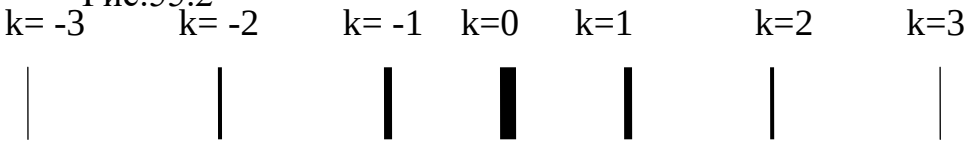


Рис.55.3

ного курса физики производства ФГУП “Центр МНТП”. В качестве источника света используется лазер, дающий в видимой части спектра одну монохроматическую линию, длину волны которой предлагается определить.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Установите на оптической скамье источник света и дифракционную решетку.
2. Подключите источник света к батарее «Крона». На экране появится изображение нескольких максимумов.
3. С помощью линейки на оптической скамье определите расстояние L между дифракционной решеткой и экраном с точностью $\pm 10^{-3}$ м.
4. С помощью линейки измерьте расстояния $x_k$ от центров дифракционных максимумов ±1-го, ±2-го и т.д. порядков справа и слева от центра «нулевого» максимума. Данные занесите в таблицу результатов наблюдений.
5. Произведите контроль измерений вычислением разностей $x_k$-$x_{-k}$. Если полученные разности существенно отличаются от нуля, повторите измерения.
6. Определите значение периода решетки для каждого из дифракционных максимумов (для каждого из +к и –к)По формуле

$$d = k\lambda\sqrt{1+\left(\frac{L}{x_k}\right)^2}\,. \qquad /55.5/$$

7. Рассчитайте средние абсолютную и относительную погрешности измерения абсолютного показателя преломления материала по формулам /55.6/ и /55.7/

$$\Delta d_{CP} = tg(\alpha, m)\sqrt{\frac{\sum \Delta d_i^2}{m(m-1)}}\,. \qquad /55.6/ \qquad \varepsilon_N = \frac{\Delta n_{CP}}{n_{CP}}100\% \qquad /55.7/$$

Значение надежности α выберите α=….. по заданию преподавателя, а значение коэффициента $t_{\alpha,m}$= выберите по таблице с помощью преподавателя. Результаты запишите в таблицу результатов наблюдений. Запишите окончательный результат в виде $n = n_{ср} \pm \Delta n_{ср} =$ ± , ε = ....%.

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

| k | $x_k$,мм | L,мм | $x_k - x_{-k}$ | d,$10^{-7}$ м | $\Delta d_i$ | $\Delta d_i^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | | |
| -1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| -2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| -3 | | | | | | |

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие волны называют когерентными?
2. Что такое дифракция по Фраунгоферу?
3. Что такое дифракционная решетка? Для каких целей применяется дифракционная решетка?

4. Запишите формулу дифракционной решетки. Выразите период решетки через число штрихов на единицу длины.
5. Какие изменения в дифракционной картине происходят при изменении длины волны, ширины дифракционной решетки?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 2014. – 446 с. §19.5, 19.7.
2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 11 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, В.М. Чаругин. – М.: Просвещение, 2014. - § 56.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 56 - СПО

### ИЗУЧЕНИЕ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОЭЛЕМЕНТОВ

Цель работы: изучить явление внешнего фотоэффекта, ознакомиться с принципом действия фотоэлементов и экспериментально исследовать зависимость фототока от напряжения.

Приборы и материалы: вакуумный и газонаполненный фотоэлементы, микроамперметр и вольтметр постоянного тока, реостат, источник постоянного тока, источник света (электрическая лампа), оптическая скамья со штативом, источник питания лампы с регулируемым напряжением.

## КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Фотоэффект заключается в переводе электронов (фотоэлектронов) на более высокие энергетические уровни под действием квантов электромагнитного излучения (фотонов). Если электроны вылетают за пределы материала, то наблюдается внешний фотоэффект.

Столетов экспериментально установил следующие закономерности внешнего фотоэффекта:
1. Существует длинноволновая (“красная”) граница фотоэффекта, зависящая от рода металла, так что при $\lambda > \lambda_{кр}$ фотоэффект не наблюдается.
2. Максимальная скорость (кинетическая энергия) фотоэлектрона, выбитого из металла, зависит только от длины волны падающего света.
3. Максимальный фототок (фототок насыщения) прямо пропорционален световому потоку.

Эти закономерности объясняются на основании закона сохранения энергии, сформулированного Эйнштейном: $\mathrm{E}_{ф} = A + K_{т}$, /56.1/

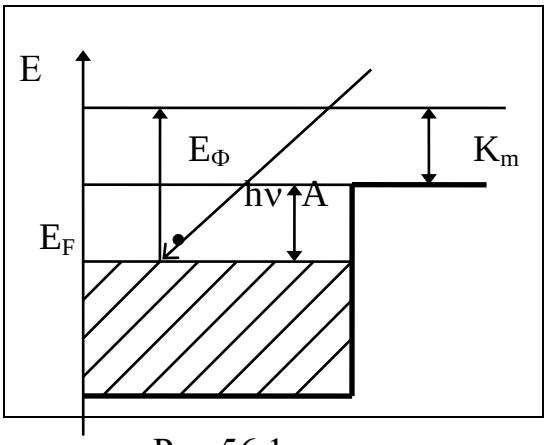



Рис.56.1

где $E_ф$ – энергия фотона, $A$ - работа выхода электрона из металла, $K_m$ - максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона. Графически уравнение Эйнштейна можно проиллюстрировать с помощью энергетической диаграммы (рис.56.1).

Энергия фотонов $E_ф$ передается в основном электронам, находящимся у поверхности металла и обладающим энергией, близкой к $E_F$ – энергии Ферми.

Получив энергию $E_ф$, электрон переходит на уровень $E= E_F + E_ф$, и если $E > 0$, электрон покидает металл с кинетической энергией $K_m = E_ф – A$. Если в процессе выхода фотоэлектрон передает часть энергии кристаллической решетке (сообщая ей тепловое движение) или если он выбивается с энергетического уровня ниже $E_F$, то его кинетическая энергия меньше, $K<K_m$.

Энергия фотона равна:

$$E_ф = h\nu = \frac{hc}{\lambda}, \qquad /56.2/$$

где $h$ – постоянная Планка, $c$ - скорость света, $\lambda$ - длина волны света. С увеличением $\lambda$ при

$$\lambda_{кр} = \frac{hc}{A} \qquad /56.3/$$

электроны перестанут вылетать из металла, т.к. $K=0$, что объясняет первый закон Столетова.

Второй и третий законы Столетова объясняются гипотезой Эйнштейна о том, что поглощение света электроном происходит порциями - квантами. Поэтому кинетическая энергия фотоэлектрона не зависит от общего количества энергии (числа фотонов), поглощенного металлом. Количество фотоэлектронов (величина фототока) прямо пропорционально световому потоку (количеству поглощенных фотонов). Сила фототока равна:

$$J = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{e\Delta N_e}{\Delta t} \sim \frac{\Delta N_ф}{\Delta t} = \frac{ФS}{E_ф}, \qquad /56.4/$$

где: $\Delta N_e$ - количество фотоэлектронов с зарядом $e$, $\Delta N_ф$ - количество фотонов, $Ф$ - световой поток (количество лучистой энергии, падающей в единицу времени), $S$ - площадь электрода. Откуда $J \sim Ф$.

Явление внешнего фотоэффекта используется для создания фотоэлементов (рис.56.2). Свет, попадая на катод, выбивает фотоэлектрон, движущийся под

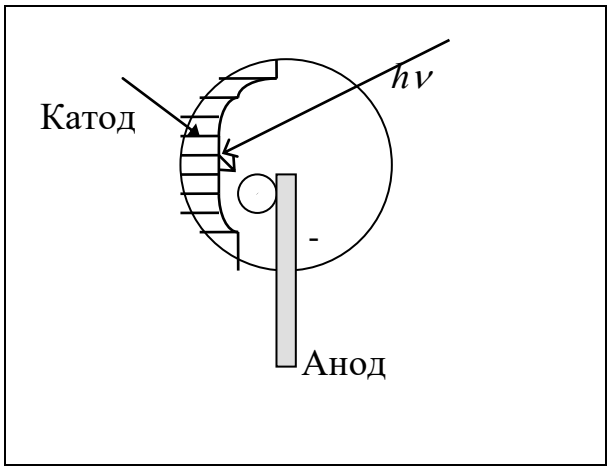



Рис.56.2

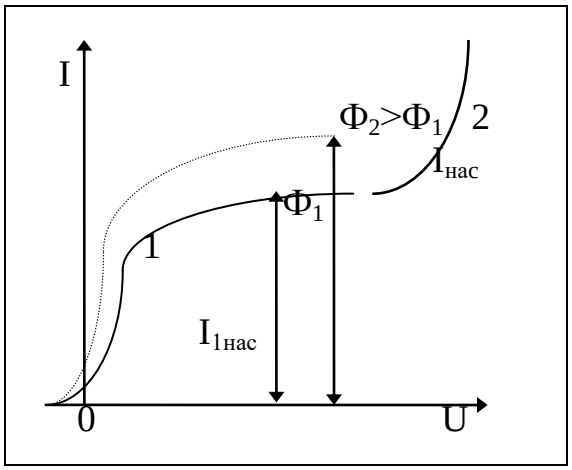



Рис.56.3

действием электрического поля к аноду. Вольт-амперная характеристика вакуумного фотоэлемента показана на рис.56.3, участок 1 сплошной кривой. В отсутствие внешнего поля $U = 0$, на катод попадают электроны за счет своей кинетической энергии и течет небольшой ток. Для его прекращения необходимо напряжение обратной полярности $U_з$, так что

$$eU_з = \frac{hc}{\lambda} - A = K_m . \qquad /56.5/$$

С увеличением приложенного напряжения ток возрастает и достигает насыщения, когда все выбитые электроны попадают на анод.

Для получения больших токов используют эффект газового усиления в газонаполненных фотоэлементах. Вольт-амперная характеристика такого элемента представлена на рис.56.3, участок 2 сплошной кривой. Эффект газового усиления возникает, когда фотоэлектрон в промежутке между столкновениями с молекулами газа приобретает энергию, большую энергии ионизации:

$$elE \geq e\varphi_{кон}, \qquad /56.6/$$

где $e$ – заряд электрона; $l$ - длина свободного пробега фотоэлектрона; $E$ - напряженность внешнего поля; $\varphi_{ион}$ - потенциал ионизации. По мере роста напряжения на аноде условие ионизации /56.7/ выполняется в большей части объема и ток ионизации $J_{кон}$ возрастает так, что суммарный ток равен

$$J=J_ф+J_{ион}. . \qquad /56.7/$$

В том случае, когда конечная энергия электрона $E < 0$, возможен переход электронов на другие энергетические уровни из валентной зоны в зону проводимости и наблюдается внутренний фотоэффект. В твердых полупроводниках и диэлектриках при этом может возникать явление фотопроводимости или вентильный (фотогальванический) эффект.

Задача студента состоит в измерении величины тока в цепи вакуумного и газонаполненного фотоэлементов в зависимости от напряжения на аноде и в проверке пропорциональности фототока $J_ф$ и светового потока $Ф$, падающего на анод.

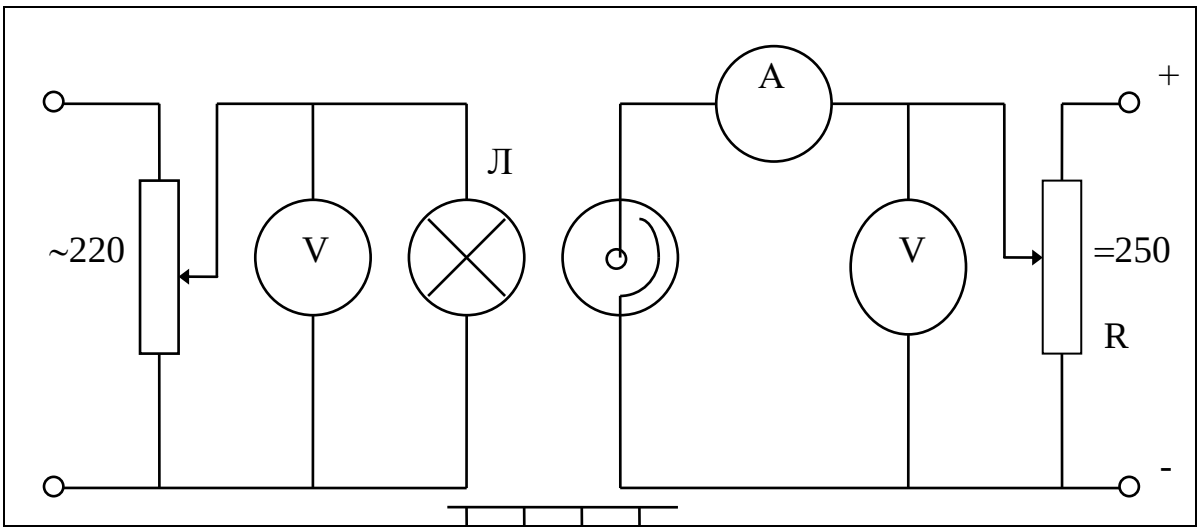



Рис.56.4

Схема установки представлена на рис.56.4. На оптической скамье на штативах с указателями положения располагается лампа *Л* и фотоэлемент *Ф* . Там же имеется измерительная линейка. Ток и напряжение на фотоэлементе изменяются делителем *R* и измеряются микроамперметром *A* и вольтметром *V*.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Собрать цепь фотоэлемента, соблюдая полярность подключения приборов. Движок реостата установить в положение, соответствующее минимальному подаваемому напряжению. Начинать работу с вакуумного фотоэлемента.
2. Отодвинуть фотоэлемент на максимальное расстояние от лампы, подать напряжение 150-200 В на фотоэлемент. Приближать фотоэлемент к лампе до достижения максимального тока через амперметр. Зафиксировать положение фотоэлемента и уменьшить напряжение до нуля.
3. Увеличивать напряжение, фиксируя величину тока через амперметр и показания вольтметра. В интервале 0…50 В напряжение менять с шагом 5 В, в интервале 60…200 В – с шагом 20 В. Величины тока и напряжения занести в таблицу результатов наблюдений. Построить график зависимости $I_Ф=f(U)$ – вольт-амперную характеристику вакуумного фотоэлемента.
4. Сменить фотоэлемент на газонаполненный и повторить операции по п. 2, 3. Величины тока и напряжения занести в таблицу результатов наблюдений. Построить график зависимости $I_Ф=f(U)$ – вольт-амперную характеристику вакуумного фотоэлемента.

## ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

Вакуумный фотоэлемент

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| U, В | | | | | | | | | | | | | | |
| $I_Ф$, мкА | | | | | | | | | | | | | | |

Газонаполненный фотоэлемент

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| U, В | | | | | | | | | | | | | | |
| $I_Ф$, | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| мкА | | | | | | | | | | | | | | |

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое фотоэффект? Что такое внутренний и внешний фотоэффект?
2. Сформулируйте законы Столетова для внешнего фотоэффекта.
3. Нарисуйте электрическую схему установки для исследования фотоэффекта.
4. Нарисуйте вольт-амперную характеристику внешнего фотоэффекта.
5. Сформулируйте и запишите уравнение Эйнштейна для фотоэффекта.
6. Объясните законы Столетова для фотоэффекта с помощью уравнения Эйнштейна.
7. Нарисуйте энергетическую диаграмму для фотоэффекта.
8. От чего зависит ток насыщения и задерживающая разность потенциалов на вольт-амперной характеристике фотоэффекта?
9. Чем и по каким причинам отличаются вольт-амперные характеристики вакуумного и газонаполненного фотоэлементов?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.Ф. Физика: учебник для среднего профессионального образования / В.Ф. Дмитриева. –М., И.Ц. Академия, 2014. – 446 с. §20.2, 20.3.
2. Мякишев Г.Я. Физика: учебник для 11 кл. общеобразовательных учреждений / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, В.М. Чаругин. – М.: Просвещение, 2014. - § 69, 70.

*Учебное издание*

**Леонтьев Николай Георгиевич**
канд. физ. мат. наук, доцент
**Белоусов Александр Васильевич**
канд. физ. мат. наук, доцент
**Гуриненко Людмила Александровна**
канд. техн. наук, доцент
**Портаков Александр Борисович**
канд. техн. наук, доцент

# ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ПРОГРАММАМ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Часть 5. Геометрическая, волновая и квантовая оптика

Редакция авторская

Объём ЭИ: 0,785 Мб.
Формат ЭИ: Portable Document Format (PDF).

© Азово-Черноморский инженерный институт
ФГБОУ ВО Донской ГАУ
347740, г. ЗЕРНОГРАД Ростовской области, ул. Ленина,21.