

Министерство образования
и науки Российской Федерации



Т. И. Папушина, В. Г. Гук

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА

МЕТОДИКА ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ К ЛАБОРАТОРНОМУ ПРАКТИКУМУ ПО ОПТИКЕ

Электронный текстовый ресурс

Содержит рекомендации к выполнению лабораторных работ по курсу
«Физика» для студентов всех форм обучения всех направлений

Подготовлено кафедрой физики

Екатеринбург

2018

ОГЛАВЛЕНИЕ


1. ЯВЛЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ В ЛАБОРАТОРНОМ ПРАКТИКУМЕ ПО ОПТИКЕ	3
2. ПОЛУЧЕНИЕ ДОПУСКА К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ	4
2.1. Рекомендации по написанию конспекта	4
2.2. Рекомендации по подготовке к входному контролю	6
2.3. Рекомендации по подготовке заготовки отчета	15
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	16

1. ЯВЛЕНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ В ЛАБОРАТОРНОМ ПРАКТИКУМЕ ПО ОПТИКЕ

Лабораторные работы по оптике являются частью лабораторного практикума по курсу «Физика». Студенты при выполнении лабораторных работ знакомятся с такими явлениями как интерференция, дифракция, поляризация света. Волновая оптика рассматривает свет как электромагнитные волны. К видимой области света относится излучение в диапазоне длин волн (400–780) нм.

Явление интерференции наблюдается при наложении когерентных волн. Оно заключается в перераспределении энергии колебаний в пространстве, в результате чего возникает взаимное усиление этих волн в одних точках пространства и ослаблении в других. Когерентными являются волны одинаковой частоты, для которых разность фаз за время наблюдения остается неизменной.

В разных лабораторных работах используется свой способ получения когерентных электромагнитных волн. В лаборатории по оптике студенты выполняют две лабораторные работы по интерференции. Это лабораторные работы: № 22 «Определение длины волны света с помощью бипризмы Френеля» и № 26 «Определение длины волны света и оценка параметров когерентности излучения при помощи колец Ньютона». В качестве источников света в данных работах используются светодиоды. Потом волна, излучаемая источником света, делится на две, которые после прохождения различных путей накладываются друг на друга. Конечным результатом в этих работах должно быть определение длины волны света λ и запись результата с учетом погрешности. Поскольку все измерения позволяют получать результаты с определенной точностью, студент должен уметь рассчитывать погрешности измерения и знать правила округления результата и погрешности.



2. ПОЛУЧЕНИЕ ДОПУСКА К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Для получения допуска к выполнению лабораторной работы студент должен изучить методические указания к работе и написать конспект, который поможет ему ответить на контрольные вопросы преподавателя и произвести необходимые измерения. Необходимо также подготовить заготовку отчета.

2.1. Рекомендации по написанию конспекта

В конспекте нужно отразить: цель работы, вывод основной формулы, способ получения когерентных лучей (схему хода лучей), порядок проведения измерений.

Вывод основной формулы

В работе № 22:

$$\lambda = \Delta x \frac{d' F}{l^2},$$

где λ – длина световой волны, Δx – ширина интерференционной полосы, d' – расстояние между изображениями источников, F – фокус линзы, l – расстояние от изображений источников до линзы.

В работе № 26:

$$\lambda_0 = \frac{D_l^2 - D_k^2}{4R(l - k)},$$

где λ_0 – длина волны света, D_l и D_k – диаметры колец, R – радиус кривизны линзы, l и k – номера колец.

Способ получения когерентных лучей в данной работе, т. е. схему хода лучей

В работе № 22 для получения когерентных лучей используется бипризма Френеля. Это прямая призма с поперечным сечением в виде треугольника с углом, близким к 180° . Лучи призмой отклоняются к оси пучка. Интерференционная картина возникает за призмой.

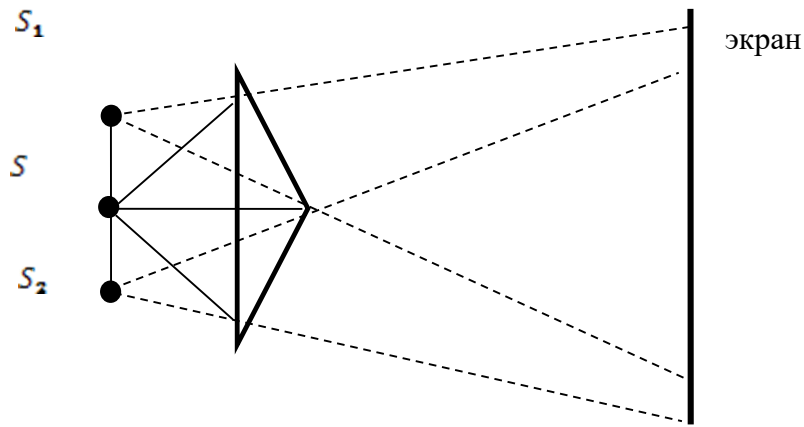


Рис. 1. Схема хода лучей в работе № 22

В работе № 26 для получения когерентных лучей используется система, состоящая из плосковыпуклой линзы с большим радиусом кривизны и плоскопараллельная толстая стеклянная пластина. Между пластиной и линзой образуется воздушный клин.

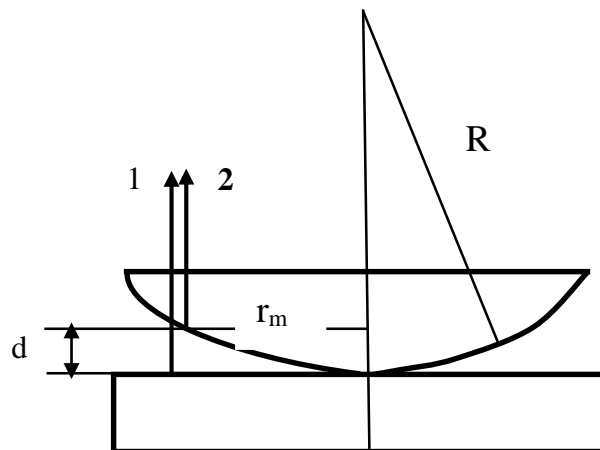


Рис. 2 Схема хода лучей в работе № 26

Порядок проведения измерений

В работе № 22:

- 1) настроить попадание света от щели на грань бипризмы;
- 2) на оптическую скамью на определенном расстоянии от окуляра поставить линзу;
- 3) добиться попадания луча в центр поля зрения окуляра;
- 4) получить четкое изображение мнимых источников S_1 и S_2 ;
- 5) произвести необходимые измерения;
- 6) убрать собирающую линзу с оптической скамьи;

7) получить четкую картину чередующихся вертикальных темных и светлых полос в поле зрения окуляра;

8) произвести необходимые измерения.

В работе № 26:

1) убедиться, что в поле зрения окуляра имеется четкое изображение колец Ньютона;

2) ознакомиться со шкалами микроскопа-компаратора и занести их характеристики в таблицу с описанием приборов;

3) следить, чтобы визирная линия, с помощью которой производятся измерения проходила через диаметры колец;

4) начинать измерения с десятого кольца и заканчивать также на десятом кольце, но уже по другую сторону от центрального пятна. Т. е. при измерениях идем все время в одну сторону. Это делается для исключения приборного люфта;

5) визирную линию совмещать с центрами черных колец. Результаты измерений по линейной и круговой шкалам занести в таблицу.

2.2. Рекомендации по подготовке к входному контролю

Степень готовности студентов к выполнению работы проверяется преподавателем по его ответам на тестовые задания, состоящие из пяти вопросов. В тесте содержатся вопросы на суть явления интерференции, этапы вывода основной расчетной формулы, порядок проведения измерений, правила округления погрешности и результата, правила записи окончательного результата.

На ответ предполагается затратить 10 минут. В ответе должен содержаться номер или сумма номеров правильных утверждений, содержащихся в вопросе. Оценка выставляется по сумме правильных ответов.

Примеры тестовых вопросов и методика ответов на них:

Вопрос 1. Верно ли, что оптическая разность хода Δ_{12} между двумя интерферирующими волнами в месте их встречи в случае наибольшего усиления света может быть равна ...

1. ... $\frac{\lambda_0}{2}$?

2. ... $m\lambda_0, (m = 0, \pm 1, \pm 2...)$?

3. ... $(2m + 1)\frac{\lambda_0}{2}, (m = 0, \pm 1, \pm 2...)$?

4. ... $\left(m + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda_0}{2}, (m = 0, \pm 1, \pm 2...)$?

На какой вопрос Вы ответили «да, верно»?

Ответ: 1) Из теории колебаний известно, что максимальное усиление складываемых колебаний происходит при разности фаз между ними $\Delta\varphi_{21} = 2m\pi$ ($m = 0, \pm 1, \pm 2...$).

2) Оптическая разность хода Δ_{12} - это разность оптических путей лучей, равная $\Delta_{12} = (r_1n_1 - r_2n_2)$, где r_1, r_2 - геометрические пути лучей; n_1, n_2 - показатели преломления сред.

3) Между разностью фаз и оптической разностью хода лучей имеется соотношение: $\Delta\varphi_{21} = \frac{2\pi}{\lambda_0} \Delta_{12}$

4) Тогда: $\Delta_{12} = \frac{\Delta\varphi_{21} \cdot \lambda_0}{2\pi} = 2m\frac{\lambda_0}{2}$. Получается четное число длин полуволн.

5) $\Delta_{12} = m\lambda_0$ Выбираем ответ под номером 2. Этот номер вводим в поле выбора ответов.

Вопрос 2. Верно ли, что разность фаз колебаний двух интерферирующих волн в месте их встречи в случае наибольшего ослабления света равна ...

1. $\frac{\pi}{2}$?

2. нечетному числу π ?

3. нулю?

4. четному числу π ?

На какой вопрос Вы ответили «да, верно»?

Ответ: 1) Свет – это электромагнитная волна, одной из характеристик которой является вектор напряженности электрического поля (\vec{E} – световой вектор). Интенсивность света I пропорциональна квадрату амплитуды вектора напряженности.

2) При наложении двух световых волн результирующая напряженность электрического поля в данной точке будет равна: $\vec{E}_p = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$.

Выполняется принцип суперпозиции.

3) Для результирующей интенсивности будет справедливо равенство:

$$I_p = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta\varphi, \text{ где } \Delta\varphi \text{ – разность фаз этих световых волн.}$$

4) Для когерентных волн наблюдается перераспределение энергии в пространстве. Максимальное ослабление интенсивности света I_p будет происходить, когда $\cos \Delta\varphi = -1$. Значит, разность фаз должна быть равна нечетному числу π .

5) $\Delta\varphi = (2m + 1)\pi$. Выбираем ответ под номером 2. Этот номер вводим в поле выбора ответов.

Вопрос 3. Какое из приведенных соотношений соответствует условию возникновения только темных колец Ньютона при наблюдении интерференционной картины в отраженном свете (n – показатель преломления вещества клина)?

1. $2dn + \frac{\lambda_0}{2} = m\lambda_0, (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots);$

2. $2dn + \frac{\lambda_0}{2} = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda_0, (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots);$

3. $2d = \frac{r_m^2}{R};$

4. $r_m^2 = (2m - 1)R \frac{\lambda_0}{2}.$

Ответ: 1) Кольца Ньютона являются частным случаем интерференции в клине. Воздушный клин образуется между линзой и пластинкой. И при

нормальном падении световых лучей на клин оптическая разность хода между отраженными лучами будет равна: $\Delta_{21} = 2dn + \frac{\lambda_0}{2}$.

2) Условию ослабления света соответствует оптическая разность хода:

$$\Delta_{21} = (2m+1)\frac{\lambda_0}{2}, \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2 \dots).$$

3) Тогда получим:

$$2dn + \frac{\lambda_0}{2} = (2m+1)\frac{\lambda_0}{2} = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda_0.$$

4) $2dn + \frac{\lambda_0}{2} = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda_0, (m = 0, \pm 1, \pm 2 \dots)$. Выбираем ответ под номером 2

и вводим номер в поле выбора ответов.

Вопрос 4. Какое из приведенных соотношений справедливо только для светлых колец Ньютона при наблюдении интерференционной картины в отраженном свете?

1. $(R-d)^2 + r_m^2 = R^2$;

2. $2d = \frac{r_m^2}{R}$;

3. $r_m^2 = (2m-1)R\frac{\lambda_0}{2}$;

4. $r_m^2 = mR\frac{\lambda_0}{2}$.

Ответ: 1) Из рисунка, представленного в конспекте (рис. 2), следует: $(R-d)^2 + r_m^2 = R^2$; (теорема Пифагора). Величиной d^2 можно пренебречь, т. к. она мала по сравнению с другими величинами, входящими в данное соотношение.

2) Раскрываем скобки и получаем: $2d = \frac{r_m^2}{R}$.

3) Подставим полученное выражение в условие для наблюдения светлых колец: $2dn + \frac{\lambda_0}{2} = m\lambda_0$; $\frac{r_m^2}{R}n = \lambda_0\left(m - \frac{1}{2}\right) = \frac{(2m-1)}{2}\lambda_0$.

4) Найдем радиусы светлых колец:

$r_m^2 = (2m-1)R \frac{\lambda_0}{2n}$; , в нашем случае клин воздушный и $n=1$.

5) $r_m^2 = (2m-1)R \frac{\lambda_0}{2}$; Выбираем ответ под номером 3 и вводим номер в поле

выбора ответов.

Вопрос 5. Интерференционная картина получена с помощью бипризмы Френеля. Как изменится расстояние между соседними интерференционными полосами при замене зеленого светодиода на красный?

1. Не изменится.
2. Уменьшится.
3. Увеличится.

Ответ: 1) Величину разности хода лучей от двух мнимых источников Δ_{21} можно определить, зная координату x интерференционной полосы на экране, расстояние d между мнимыми источниками и расстояние L от источников до экрана (рис. 3).

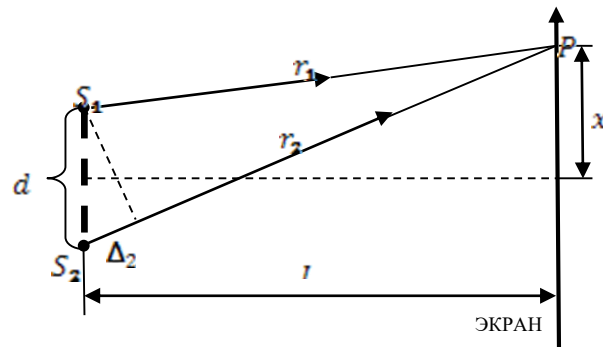


Рис. 3 Схема хода лучей и параметры интерференционной картины в работе № 22

2) Рассмотрев два прямоугольных треугольника и учтя, что картина наблюдается только вблизи центра экрана, когда координата $x \ll L$ и $d \ll x$, для оптической разности хода получим:

$\Delta_{21} = r_2 - r_1 = 2dx / (r_2 + r_1)$. При этих допущениях можно считать, что $r_1 + r_2 \approx 2L$.

И для оптической разности хода получим: $\Delta_{21} = \frac{xd}{L}$.

3) Условие максимумов: $\Delta_{12} = m\lambda$. После подстановки: $m\lambda = \frac{xd}{L}$. И для

координаты полосы получим: $x = \frac{mL\lambda}{d}$, ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$).

4) Расстояние между соседними полосами будет равно: $\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$.

5) Т. к. длина волны зеленого света λ_3 меньше длины волны красного света λ_k , при замене светодиодов произойдет увеличение расстояния Δx между соседними интерференционными полосами. Выбираем ответ под номером 3 и вводим номер в поле выбора ответов.

Вопрос 6. В установке для наблюдения колец Ньютона одну линзу заменили другой с меньшим радиусом кривизны. При этом ...

1. ...радиусы колец уменьшатся.
2. ...разность хода между интерферирующими волнами уменьшится.
3. ...радиусы колец увеличатся.
4. ...длина волны увеличится.

Укажите номер правильного ответа.

Ответ: 1) В работе № 26 из результатов измерений рассчитываются диаметры темных колец D_m , ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$).

2) Радиус кольца и его диаметр связаны соотношением: $r_m = \frac{D_m}{2}$.

3) Расчетная формула для радиусов темных колец имеет вид: $r_m^2 = \frac{mR\lambda_0}{n}$.

4) Таким образом: $r_m = \sqrt{\frac{mR\lambda_0}{n}}$ и при уменьшении радиуса кривизны

линзы R радиусы колец уменьшатся. Остальные предложенные параметры от радиуса кривизны линзы не зависят.

5) Выбираем ответ под номером 1 и вводим номер в поле выбора ответов.

Вопрос 7. Порядок проведения лабораторной работы № 22:

1. Определение расстояния между изображениями мнимых источников.
2. Измерение положений интерференционных полос.

3. Расчет длины волны и оценка погрешности измерений.

4. Расчет параметров когерентности.

Укажите номер этапа, выполняемого с помощью линзы.

Ответ: 1) Собирающая линза помещается на оптическую скамью между окуляром и бипризмой Френеля.

2) Перемещая линзу в сторону бипризмы, получают изображение мнимых источников в поле зрения окуляра.

3) Четкость изображения увеличивается при помощи щели, установленной между источником света и бипризмой.

4) Расстояние между мнимыми источниками S_1 и S_2 измеряется при помощи окулярного микрометра.

5) Выбираем ответ под номером 1 и вводим номер в поле выбора ответов.

Вопрос 8. Какие из перечисленных приборов рекомендованы для проведения лабораторной работы № 26?

1. Микроскоп-компаратор.

2. Светофильтр.

3. Линза большого радиуса кривизны.

4. Плоскопараллельная пластинка.

Ответ запишите как сумму номеров правильных утверждений.

Ответ: 1) Микроскоп-компаратор необходим для наблюдения колец Ньютона.

2) Источником света в данной работе является светодиод, поэтому светофильтр в работе не требуется.

3) Линза большого радиуса кривизны и плоскопараллельная пластинка используются для получения клина. Кольца Ньютона – это пример интерференции в тонком клине.

4) Итак, в работе используются: микроскоп-компаратор (1), линза большого радиуса кривизны (3), плоскопараллельная пластинка (4). Суммируем номера, получаем 8. Вводим это число в поле выбора ответов.

Вопрос 9. Как изменится расстояние от центра интерференционной картины, полученной с помощью бипризмы Френеля, до минимума порядка m при увеличении расстояния от микронной щели до экрана?

1. Уменьшится.
2. Увеличится.
3. Не изменится.

Ответ: 1) Микрометрическая щель, ширину которой можно менять, используется для уменьшения угловых размеров источника света и для увеличения четкости интерференционной картины.

2) Интерференционная картина, получаемая с помощью бипризмы Френеля, наблюдается только вблизи центра экрана. Поэтому расстояние от центра до интерференционной полосы на экране и расстояние от микронной щели до экрана связаны неравенством: $x \ll L$. Тогда оптическая разность хода

будет равна: $\Delta_{21} = \frac{xd}{L}$.

3) Для минимумов выполняется условие: $\Delta_{12} = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$, ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$).

И для координаты темных полос получается формула: $x = \frac{(2m+1)L\lambda}{2d}$.

4) Делаем вывод, что с увеличением расстояния от микронной щели до экрана расстояние от центра интерференционной картины до минимума порядка m также увеличивается.

5) Выбираем ответ под номером 2 и вводим номер в поле выбора ответов.

Вопрос 10. В установке для получения колец Ньютона, между линзой и пластинкой налили жидкость с показателем преломления $n_{\text{ж}}$ ($n_{\text{стекла}} > n_{\text{ж}} > n_{\text{возд}}$). При этом ...

1. ... частота световых волн после отражения от плоскопараллельной пластинки изменится.
2. ... радиусы колец Ньютона увеличатся.
3. ... радиусы колец Ньютона уменьшатся.

Укажите номер правильного ответа.

Ответ: 1) Радиусы колец Ньютона рассчитываются по формуле:

$$r_m = \sqrt{\frac{mR\lambda_0}{n}}, \text{ где } m \text{ – номер темного кольца, } R \text{ – радиус линзы, } \lambda_0 \text{ – длина волны}$$

падающего света, n – показатель преломления среды, заполняющей клин между линзой и пластинкой.

2) Первоначально между линзой и пластинкой находился воздушный клин с показателем преломления $n_{\text{возд}} = 1$. После замены воздуха на жидкость с показателем преломления $n_{\text{ж}} > 1$, знаменатель подкоренного выражения увеличится.

3) Подкоренное выражение уменьшится и радиусы колец r_m также уменьшатся.

4) Частота световой волны при переходе из одной среды в другую остается неизменной.

5) Выбираем ответ под номером 3 и вводим номер в поле выбора ответов.

Вопрос 11. Какой разности хода соответствует пятое темное кольцо, не считая нулевого центрального, на интерференционной картине, наблюдаемой в поле зрения микроскопа-компаратора в отраженном свете?

1. $\Delta_{21} = \frac{5}{2}\lambda_0$;

2. $\Delta_{21} = \frac{11}{2}\lambda_0$;

3. $\Delta_{21} = 5\lambda_0$;

4. $\Delta_{21} = 10\lambda_0$.

Ответ: 1) Оптическая разность хода для темных колец связана с длиной волны падающего света соотношением: $\Delta_{21} = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda_0, (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$.

2) Т. к. нулевое центральное пятно не учитывается, в нашем случае $m=5$.

3) Подставив это значение в расчетную формулу, получим:

$$\Delta_{21} = \left(5 + \frac{1}{2}\right)\lambda_0 = \frac{11}{2}\lambda_0.$$

4) Выбираем ответ под номером 2 и вводим номер в поле выбора ответов.

Вопрос 12. В работе были получены следующие значения длины волны падающего света и ее погрешности: $\lambda_0 = 6,768 \cdot 10^{-7} \text{ м}$, $\Delta\lambda_0 = 0,0321 \cdot 10^{-7} \text{ м}$. Какая форма представления полученного в работе результата является правильной?

1. $\lambda_0 = (6,76 \pm 0,032) \cdot 10^{-7} \text{ м}$;
2. $\lambda_0 = (6,8 \pm 0,03) \cdot 10^{-7} \text{ м}$;
3. $\lambda_0 = (6,77 \pm 0,03) \cdot 10^{-7} \text{ м}$;
4. $\lambda_0 = (6,768 \pm 0,032) \cdot 10^{-7} \text{ м}$.

Ответ: 1) Существуют определенные правила округления результата измерения и его абсолютной погрешности.

2) Первоначально округляется погрешность до первой значащей цифры (значащими являются все цифры, кроме нулей в начале числа). В нашем случае: $\Delta\lambda_0 = 0,03 \cdot 10^{-7} \text{ м}$.

3) Затем округляется результат до числа десятичных знаков в погрешности: $\lambda_0 = 6,77 \cdot 10^{-7} \text{ м}$.

4) При записи окончательного результата общий порядок величин и единицы измерения выносятся за скобки: $\lambda_0 = (6,77 \pm 0,03) \cdot 10^{-7} \text{ м}$.

5) Выбираем ответ под номером 3 и вводим номер в поле выбора ответов.

2.3. Рекомендации по подготовке заготовки отчета

Последним этапом подготовки к выполнению лабораторной работы является создание заготовки отчета. Она состоит из титульного листа и внутренних страниц. Внутренние страницы должны содержать основные расчетные формулы с пояснением входящих в них величин, заготовку таблицы для описания используемых приборов (количество строк в таблице должно соответствовать количеству приборов), оптическую схему получения интерференционной картины, заготовку таблиц для внесения результатов измерений (количество строк в таблице должно соответствовать количеству измерений), формулы для расчета погрешностей, рядом с которыми должно быть оставлено место для расчетов. В завершении должно быть оставлено место для записи окончательного результата и выводов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Валишев М. Г., Повзнер А. А. Физика Учебное пособие. – СПб. : Лань, 2009. – 576 с.
2. Детлаф А. А., Яворский Б. М. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2007. – 718 с.
3. Михельсон А. В. Волновая оптика: учебное пособие / А .В. Михельсон, Т. И. Папушина, А. А. Повзнер, А. Г. Гофман. – Екатеринбург : УрФУ, 2015. – 128 с.
4. Папушина Т. И. Определение длины волны света и оценка параметров когерентности излучения при помощи колец Ньютона: методические указания к лабораторной работе № 26 / Т. И. Папушина. – Екатеринбург: УрФУ, 2015. – 20 с.
5. Папушина Т. И. Определение длины световой волны с помощью бипризмы Френеля: методические указания к лабораторной работе № 22 / Т. И. Папушина, Е. А. Ходак. – Екатеринбург: УрФУ, 2015. – 20 с.

Электронный текстовый ресурс

Татьяна Ивановна Папушина

Вера Георгиевна Гук

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА

МЕТОДИКА ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ К ЛАБОРАТОРНОМУ ПРАКТИКУМУ ПО ОПТИКЕ

Подготовка к публикации *А. А. Жиленко*

Компьютерная верстка *Т. А. Папушиной*

Рекомендовано Методическим советом УрФУ

Разрешен к публикации 25.07.2018

Электронный формат – pdf

Объем 0,53 уч.-изд. л.



620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19

Информационный портал УрФУ