Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»

Кафедра физики

ИЗУЧЕНИЕ ДИСПЕРСИИ СВЕТА

**Методические рекомендации
к лабораторной работе № 67 А
по дисциплине «Физика»**

Уфа 2018

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Уфимский государственный авиационный технический университет»

Кафедра физики

ИЗУЧЕНИЕ ДИСПЕРСИИ СВЕТА

Методические рекомендации
к лабораторной работе № 67 А
по дисциплине «Физика»

Уфа 2018

Составитель Е. Р. Басырова

УДК 535(07)
ББК 22.343я7

Изучение дисперсии света : методические рекомендации к лабораторной работе № 67 А по дисциплине «Физика» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т ; сост. Е. Р. Басырова. – Уфа : РИК УГАТУ, 2018. – 14 с.

Цель методических рекомендаций – закрепление и совершенствование знаний студентов по дисциплине «Физика» и формирование у них умений и навыков применять эти знания для решения научно-технических задач в теоретических и прикладных аспектах, возникающих в последующей профессиональной деятельности.

Знакомят студентов с явлением дисперсии света, оптическими методами определения оптической силы линзы и показателя преломления стекла для различных длин световых волн.

Предназначены для студентов технических вузов, изучающих дисциплину «Физика» по разделу «Волновая оптика. Квантово-оптические явления» на всех направлениях подготовки бакалавров и специалистов.

Рецензент д-р физ.-мат. наук, доцент Чембарисова Р. Г.

© Оформление. РИК УГАТУ, 2018

Содержание

Введение 4
1. Цели работы 5
2. Задачи 5
3. Теоретическая часть 5
3.1. Дисперсия света 5
3.2. Метод определения показателя преломления прозрачных веществ 9
4. Экспериментальная часть. Описание лабораторной установки 11
5. Требования по технике безопасности 12
6. Задания 12
7. Методика выполнения заданий 12
Контрольные вопросы 13
Требования к содержанию и оформлению отчета 14
Критерии результативности выполнения лабораторной работы 14
Список литературы 14

ВВЕДЕНИЕ

Длительный путь развития теории природы света привел к современным представлениям о ее двойственной корпускулярно-волновой природе. Явление дисперсии света объясняется на основе волновых представлений о нем. Выполнение данной лабораторной работы способствует закреплению знаний о волновой природе света, явлениях нормальной и аномальной дисперсии. Работа знакомит студентов с методами определения оптической силы линзы и показателя преломления стекла для различных длин световых волн.

В результате выполнения данной лабораторной работы формируются следующие компетенции:

– владение знаниями о дисперсии света;

– способность использовать необходимое оборудование и измерительные приборы;

– способность сопоставлять экспериментальные данные с теоретическими положениями;

– способность оформлять, представлять и излагать результаты выполненной работы;

– способность применять полученные теоретические знания в экспериментальной работе.

Перечисленные компетенции формируются через умения:

– работать с измерительными приборами;

– рассчитывать физические величины по экспериментальным данным;

– графически представлять полученные результаты;

– анализировать полученные результаты;

– оформлять отчет;

– использовать знания, полученные в опыте для подтверждения теоретических знаний, а также через владения:

– теоретическим материалом;

– навыками измерений физических величин по приборам;

– технологией графической обработки экспериментальных данных.

Лабораторная работа № 67 А

ИЗУЧЕНИЕ ДИСПЕРСИИ СВЕТА

1. ЦЕЛИ РАБОТЫ

1. Исследование зависимости оптической силы линзы от длины волны исследуемого света.

2. Определение показателя преломления стекла для разных световых волн.

2. ЗАДАЧИ

1. Закрепление знаний о волновой природе света, явлении дисперсии и электронной теории дисперсии.

2. Овладение методами измерения оптической силы линзы и показателя преломления стекла для различных длин волн.

3. Приобретение навыков проведения измерений и умения обработки получаемых при этом данных.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

3.1. Дисперсия света

Дисперсией света называется зависимость показателя преломления среды от частоты проходящего через нее света. Зависимость показателя преломления среды от частоты света, вообще говоря, нелинейная и немонотонная. Область частот, в которой показатель преломления увеличивается с возрастанием частоты, носит название области *нормальной дисперсии*. Если показатель преломления с увеличением частоты уменьшается, то наступает *аномальная дисперсия*. Нормальную дисперсию можно наблюдать, например, пропуская белый свет через призму из оптически плотного стекла. При этом лучи разных длин волн, входящих в состав белого света, после прохождения призмы окажутся отклоненными на различные углы. Пучок белого света за призмой разлагается в *спектр* (рис. 3.1), являющийся результатом распределения интенсивности световых волн по их длинам (частотам).

Излучения, исходящие от нагретых тел, характеризуются *спектром испускания*. В разреженных газах взаимное влияние атомов друг на друга крайне мало, поэтому спектр испускания разреженных газов в спектральном приборе выглядит как набор резких узких

линий. Такой спектр называют *линейчатым*. При повышении давления в газах силы межатомного взаимодействия возрастают, что приводит к превращению узких линий в полосы. *Спектральной полосой* называется совокупность узких спектральных линий одного цвета. Спектр испускания газов, находящихся под большим давлением является *полосатым*. Полосатый спектр будет наблюдаться и в том случае, когда происходит свечение молекул газа. Нагретые твердые тела и жидкости испускают излучение, в котором присутствуют волны всевозможных длин. Такой спектр называется *сплошным* (*непрерывным*).

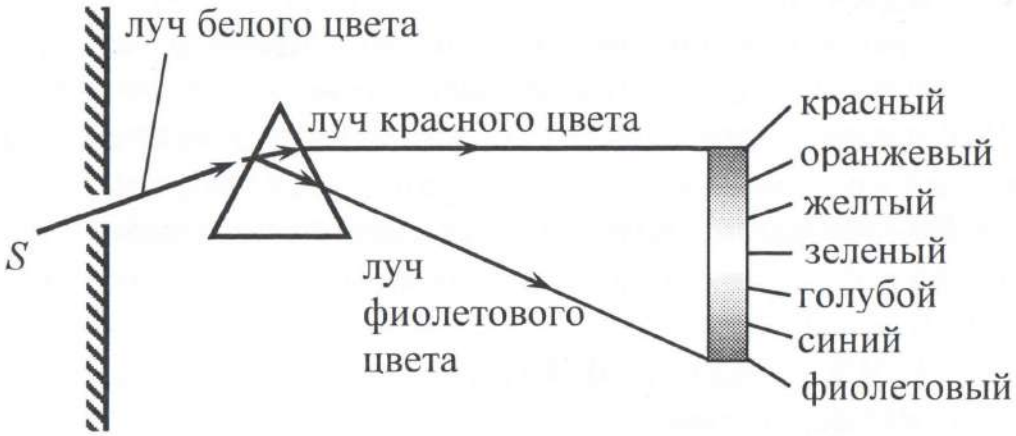

Рис. 3.1. Дисперсия света на призме

При пропускании белого света через прозрачные среды лучи с определенными длинами волн поглощаются. При этом в спектре вместо светлых полос (линий) наблюдаются темные полосы (линии) поглощения. Соответствующий спектр называется спектром *поглощения*. Как правило, поглощаются лучи с теми же самыми длинами волн, которые присутствуют в спектре испускания этого же вещества. Поэтому спектр поглощения газов линейчатый или полосатый, а жидкостей и твердых тел – сплошной. В области частот, соответствующих наиболее сильному поглощению света, наблюдается *аномальная дисперсия*. У обычного стекла области интенсивного поглощения приходятся на ультрафиолетовую часть спектра, благодаря этому стекло легко пропускает излучение в интервале светового диапазона.

Оптически прозрачные среды немагнитные ($\mu \approx 1$), поэтому для их показателей преломления справедлива формула:

$$n = \sqrt{\varepsilon\mu} = \sqrt{\varepsilon}\,. \qquad (3.1)$$

Следовательно, для выявления причин дисперсии света необходимо установить зависимость диэлектрической проницаемости среды ε или ее диэлектрической восприимчивости χ от частоты.

При прохождении световой волны через прозрачную среду вследствие смещения электронов из положений равновесия происходит поляризация среды. Под действием электрического поля световой волны смещаются только слабо связанные с ядром внешние – *оптические* электроны. Ядра атомов и сильно связанные с ними электроны не успевают реагировать на быстрое изменение напряженности в световой волне и поэтому не смещаются.

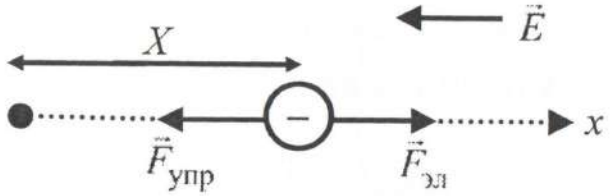

Рис. 3.2. Силы, действующие на оптический электрон

Пусть x – величина вектора смещения электрона из положения равновесия под действием электрического поля световой волны, направленного вдоль оси x (рис. 3.2). Тогда дипольный момент оптического электрона, наведенный под действием этого поля, будет равен

$$p_e = -e \cdot x\,, \qquad (3.2)$$

где e=1,6·10^{-19} Кл – элементарный заряд.

Если все оптические электроны находятся в одинаковых состояниях, то поляризованность среды P – дипольный момент единицы объема – окажется равным

$$P = n_0\, p_e = -n_0\, ex\,, \qquad (3.3)$$

где n_0– концентрация оптических электронов. С другой стороны, мгновенное значение поляризованности является линейной функцией напряженности $\vec{E}$ внешнего электрического поля

$$P = -\chi\varepsilon_0 E\,, \qquad (3.4)$$

В простейшем случае все силы, действующие на оптический электрон со стороны атома в направлении оси, можно аппроксимировать квазиупругой силой, равной

$$F_{\text{упр}} = -m\omega_0^2 x.$$

Со стороны поля волны на электрон действует сила $F_{\text{эл}} = eE$. Тогда второй закон Ньютона для электрона запишется в виде

$$m\vec{a} = \vec{F}_{\text{упр}} + \vec{F}_{\text{эл}}. \qquad (3.5)$$

Отсюда, уравнение колебаний электрона, упруго связанного с атомом имеет вид

$$ma = m\ddot{x} = -m\omega_0^2 x + eE, \qquad (3.6)$$

где ω_0 – собственная частота колебаний электрона. В месте нахождения оптического электрона напряженность электрического поля изменяется по гармоническому закону с частотой ω

$$E = E_0 \cos\omega t. \qquad (3.7)$$

Решение уравнения (6) имеет вид

$$x = \frac{eE}{m(\omega_0^2 - \omega^2)}. \qquad (3.8)$$

С учетом формул (3) и (4) для проекции вектора поляризованности $\vec{P}$ и диэлектрической восприимчивости χ получим следующие выражения:

$$P = -\frac{n_0 e^2 E}{m(\omega_0^2 - \omega^2)}, \qquad (3.9)$$

$$\chi = \frac{n_0 e^2}{\varepsilon m(\omega_0^2 - \omega^2)}. \qquad (3.10)$$

Согласно соотношению (1) имеем

$$n^2 = 1 + \chi = 1 + \frac{n_0 e^2}{\varepsilon_0 m(\omega_0^2 - \omega^2)}. \qquad (3.11)$$

Это выражение называется *формулой Зельмейера* и дает функциональную зависимость показателя преломления среды от частоты света. Она показана на рис. 3.3 сплошной линией (области 1 и 3). Величина ω_0 имеет смысл резонансной частоты колебаний оптических электронов. По мере приближения частоты света ω к частоте ω_0 слева/справа показатель преломления возрастает до бесконечности $+\infty/-\infty$. Неограниченное возрастание n при $\omega \to \omega_0$ физически бессмысленно. При резонансной частоте амплитуда колебаний оптических электронов возрастает, что, в свою очередь,

приводит к поглощению энергии световой волны и превращению ее в тепловую. Учет поглощения энергии приводит к зависимости $n(\omega)$ показанной на рис. 3.3 пунктирной линией (область 2). Кроме того, при частоте превышающей собственную частоту, смещение электрона происходит в направлении противоположном направлению вынуждающей силы. Вследствие этого, вектора поляризованности $\vec{P}$ и напряженности $\vec{E}$ оказываются противоположными, а показатель преломления меньше 1. Фактически при частотах близких к частоте ω_0 свет не распространяется в результате его интенсивного поглощения.

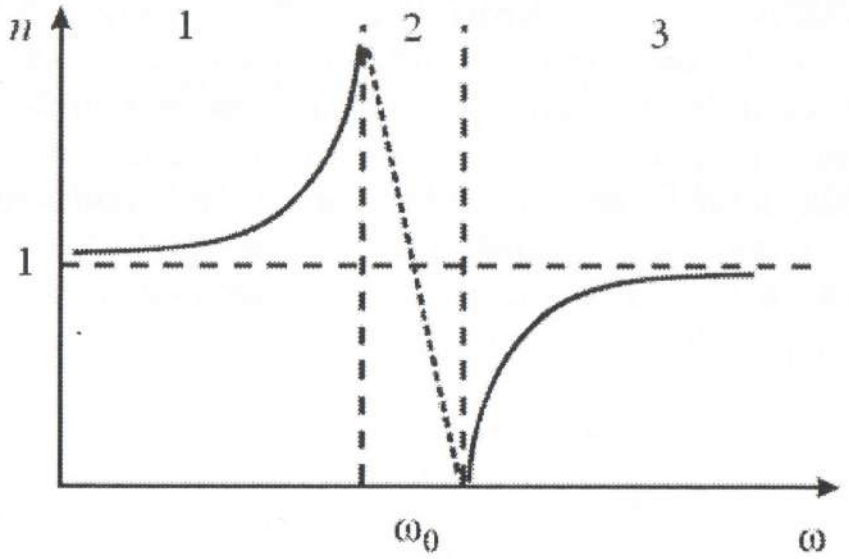

Рис. 3.3. Зависимость показателя преломления света *n* от частоты падающего света

3.2. Метод определения показателя преломления прозрачных веществ

Следствием дисперсии света – зависимости показателя преломления света в веществе от длины (частоты) его волны, является хроматизм положений изображения при прохождении белого света сквозь оптическую систему, что представляет собой один из серьезных недостатков оптических систем (рис. 3.4).

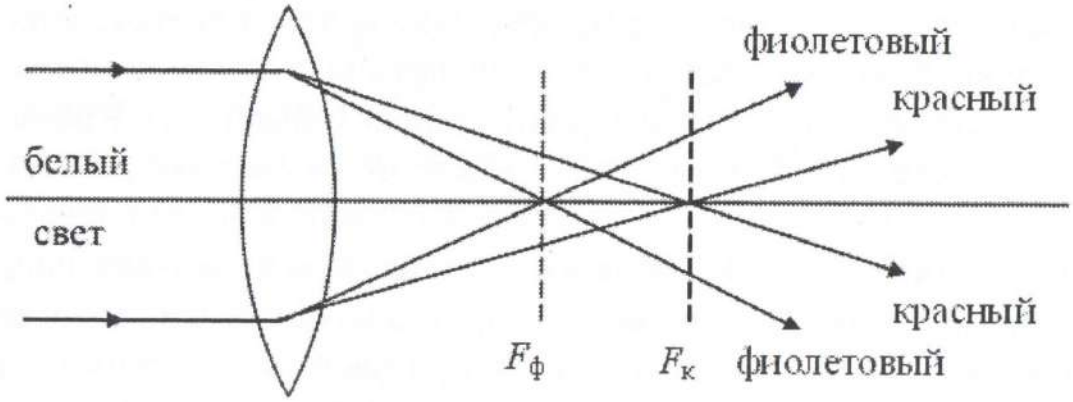

Рис. 3.4. Хроматизм положений изображения при прохождении белого света через линзу

Это означает, что нехроматический (белый) пучок имеет совокупность фокусов, расположенных вдоль оптической оси. Или, другими словами, линза дает ряд четких изображений предмета, расположенных на разных расстояниях от линзы, если изображение предмета получено в нехроматическом свете. *Оптическая сила* тонкой линзы связана с показателем преломления n материала, из которого она изготовлена, и радиусами кривизны R_1 и R_2 ее поверхностей (рис. 5.5).

$$D = (n-1)\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right). \qquad (3.12)$$

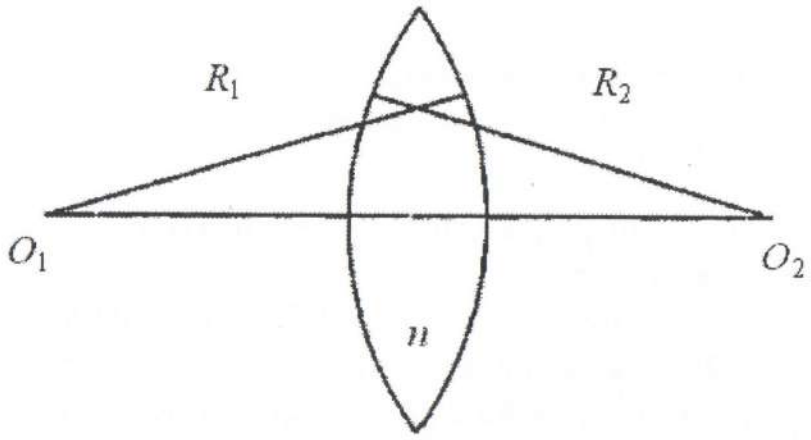

Рис. 3.5. Определение радиусов кривизны

Таким образом, определяя экспериментально оптическую силу линзы для различных частей оптического спектра, можно исследовать зависимость показателя преломления от длины волны (дисперсию света). Оптическую силу линзы достаточно просто рассчитать

по положению изображения H предмета, получаемого с помощью линзы (рис. 3.6).

$$D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}. \qquad (3.13)$$

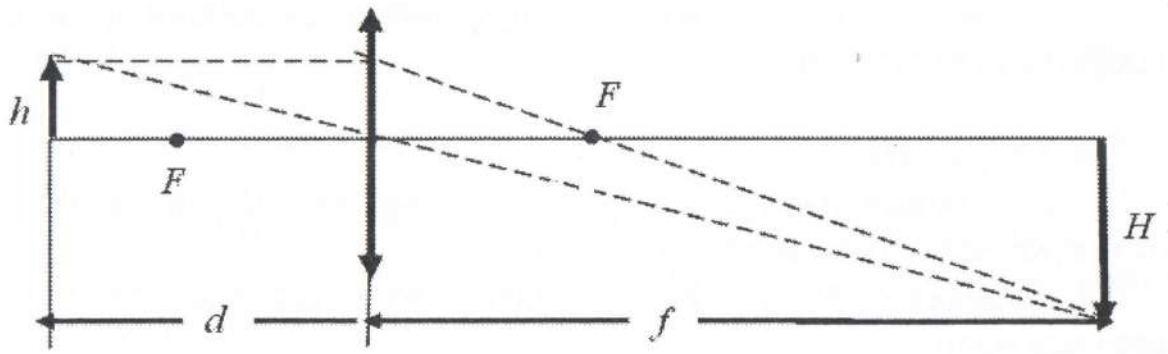

Рис. 3.6. Построение изображения H предмета h

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Установка состоит из источника света, набора светофильтров, исследуемой линзы, экрана, слайда, линейки (рис. 4.1).

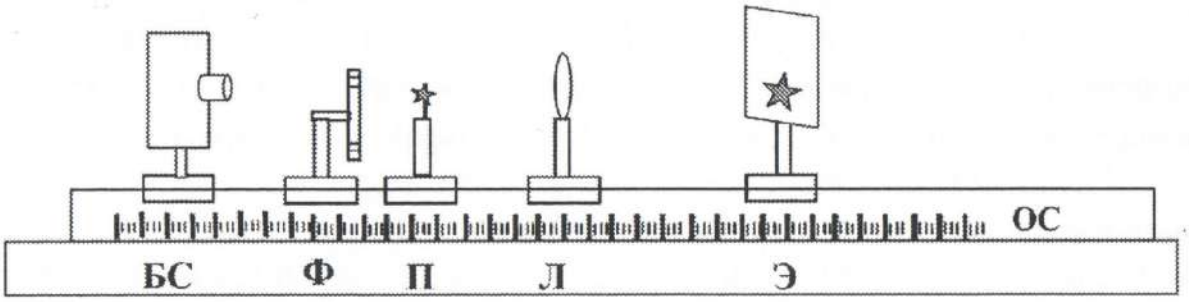

Рис. 4.1. Схема экспериментальной установки

ОС – оптическая скамья с нанесенной на ней шкалой,
БС – источник белого света,
Ф – обойма с набором светофильтров,
П – предмет,
Л – исследуемая линза,
Э – экран.

Если на оптической скамье расположить на определенном расстоянии (больше F) от линзы Л предмет, то, перемещая экран вдоль скамьи, можно получить его четкое изображение.

5. ТРЕБОВАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

1. Лабораторная установка должна быть обязательно заземлена, токоведущие провода заизолированы.

2. Запрещается загромождать рабочее место посторонними предметами.

3. Запрещается оставлять без присмотра включенную в сеть лабораторную установку.

6. ЗАДАНИЯ

1. Измерения радиусов кривизны поверхностей линзы и длин волн, пропускаемых светофильтрами.

2. Определение оптической силы линзы для различных длин световых волн.

3. Вычисление показателя преломления стекла для различных длин световых волн.

4. Построение графика зависимости показателя преломления стекла от длины волны.

7. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЙ

Исследование зависимости оптической силы линзы и показателя преломления стекла для разных длин

1. Установите исследуемую линзу на оптическую скамью и закрепите ее. В таблицу записать значения радиусов кривизны поверхностей линзы и длин волн, пропускаемых светофильтрами.

2. Установите в рабочее положение один из светофильтров (например, красный). Перемещая экран вдоль оптической скамьи, подберите такое его положение, при котором получается самое четкое изображение предмета. **Примечание**: особенно уделите внимание тому, чтобы плоскость экрана и предмета были **перпендикулярны** оптической оси линзы.

3. Зафиксируйте его положение и измерьте расстояния d и f (см. рис. 3.6) с возможно большей точностью. Результаты запишите в таблицу.

4. Не меняя положений предмета и линзы (перемещается только экран), получите четкое изображение предмета с зеленым и синим светофильтрами. Для каждого фильтра измерьте расстояние f и запишите его в таблицу.

5. Не меняя положений предмета и линзы, проведите еще дважды измерения (пункт 3) с каждым из фильтров, имеющихся в наборе, и занесите результаты измерения расстояния f от линзы до экрана в таблицу.

6. Для каждого светофильтра рассчитайте оптическую силу линзы $D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$, найдите его среднее значение $D_{ср}$ (расчеты выполняйте с точностью до третьего знака после запятой). Сделайте вывод.

7. Рассчитайте по формуле 3.12 показатель преломления стекла n для каждого фильтра, постройте график зависимости показателя преломления от длины волны. Сделайте вывод.

R_1, (м); R_2, (м); d, (м)					
λ	№	f	d	$d_{ср}$	n
$\lambda_к$, (нм)	1				
	2				
	3				
$\lambda_з$, (нм)	1				
	2				
	3				
$\lambda_с$, (нм)	1				
	2				
	3				

Контрольные вопросы

1. Что такое дисперсия света?
2. Основные положения электронной теории дисперсии света.
3. Что такое нормальная дисперсия, когда наблюдается аномальная дисперсия?
4. Записать формулу Зельмейера, дать пояснения.
5. Как экспериментально проверяется зависимость $n = f(\lambda)$?
6. Что называется спектром? Типы спектров. В каких случаях они наблюдаются?

7. По каким признакам можно отличить спектры, полученные с помощью призмы и дифракционной решетки?

Требования к содержанию и оформлению отчета

Отчет о лабораторной работе должен содержать:

1. Номер, название и цель работы.
2. Теоретическую основу метода определения преломления света.
3. Схему установки.
4. Данные измерений занести в таблицу.
5. Расчет оптической силы линзы для различных длин волн.
6. Расчет значений показателя преломления стекла для различных световых волн. Графическое представление зависимости показателя преломления от длины волны.
7. Расчет погрешностей измерений.
8. Выводы к работе.

Критерии результативности выполнения лабораторной работы

Лабораторная работа считается выполненной, если студент:

– овладел знаниями понятий дисперсии (нормальной, аномальной), основных положений электронной теории дисперсии, методов определения оптической силы линзы и показателя преломления стекла для различных световых волн;

– правильно выполнил экспериментальную и расчетную части работы;

– сформулировал выводы по результатам работы;

– составил отчет, соответствующий предъявляемым требованиям;

– дал полноценные ответы на все контрольные вопросы.

Список литературы

1. *Трофимова Т. И.* Курс физики. – М.: Академия, 2014.
2. *Савельев И. В.* Курс общей физики. Т.2. – СПБ.: Издательство «Лань», 2016.
3. *Сивухин Д. В.* Общий курс физики. Т. 4. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013.

Составитель БАСЫРОВА Елена Рафаиловна

ИЗУЧЕНИЕ ДИСПЕРСИИ СВЕТА

Методические рекомендации
к лабораторной работе № 67 А
по дисциплине «Физика»

Подписано в печать 28.06.2018. Формат 60х84 1/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman.
Усл. печ. л. 0,9. Уч.-изд. л. 0,8.
Тираж 50 экз. Заказ № 586.
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный
технический университет»
Отпечатано с готового оригинал-макета
в редакционно-издательском комплексе УГАТУ
450008, г. Уфа, ул. К. Маркса, д. 12.