



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Физика»

Практикум

Лабораторная работа № 015.

«Изучение явления дисперсии света и определение показателя преломления вещества призмы»
по дисциплине

«Физика»

Авторы

Жданова Т. П.,
Лемешко Г. Ф.,
Лещёва О. А.,
Пруцакова Н. В.,
Холодова О. М.

Ростов-на-Дону, 2019

Аннотация

Методические указания содержат краткую теорию дисперсии света и порядок выполнения лабораторной работы.

Указания предназначены для выполнения лабораторной работы студентами инженерных специальностей всех форм обучения в лабораторном практикуме по физике (раздел «Оптика»).

Авторы

к.ф.-м.н., доцент кафедры «Физика»

Жданова Т.П.,

к.ф.-м.н., профессор кафедры «Физика»

Лемешко Г.Ф.,

доцент кафедры «Физика»

Лещёва О. А.,

к.ф.-м.н., доцент кафедры «Физика»

Пруцакова Н. В.,

доцент кафедры «Физика»

Холодова О.М.



Цель работы: изучить явление дисперсии света; определить показатель преломления и характер дисперсии вещества призмы.

Приборы и принадлежности: гониометр Фёдорова, треугольная призма.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Абсолютный показатель преломления среды n показывает, во сколько раз фазовая скорость электромагнитных волн в среде v меньше скорости электромагнитных волн в вакууме c :

$$n = \frac{c}{v},$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света в вакууме.

Относительный показатель преломления $n_{2,1}$ показывает, во сколько раз фазовая скорость электромагнитных волн в одной среде меньше или больше фазовой скорости электромагнитных волн в другой среде:

$$n_{2,1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}.$$

Опыт показывает, что скорость света в среде зависит от длины волны света λ . Так, в видимом диапазоне длин волн скорость минимальна для фиолетовых лучей ($\lambda_{\phi} \approx 400$ нм) и максимальна для красных лучей ($\lambda_{\text{КР}} \approx 700$ нм).

Длина волны в вакууме $\lambda_0 = \frac{c}{\nu}$, в среде длина волны

$$\lambda = \frac{v}{\nu} = \frac{c}{n \cdot \nu} = \frac{\lambda_0}{n} \quad (\text{при переходе из одной среды в другую частота света } \nu \text{ не меняется}).$$

Дисперсия света – явление, обусловленное зависимостью показателя преломления среды n от частоты ν или длины световой волны λ , т.е. выражается функцией:

$$n = f(\nu) \text{ или } n = f(\lambda).$$

Дисперсией вещества называется величина $\frac{dn}{d\lambda}$, опреде-

ляющая скорость изменения показателя преломления n с изменением длины волны λ . Дисперсия называется нормальной, если с ростом длины волны показатель преломления уменьшается, т.е.

$\frac{dn}{d\lambda} < 0$, и аномальной, если с ростом длины волны показатель

преломления увеличивается, т.е. $\frac{dn}{d\lambda} > 0$. Для прозрачных ве-

ществ характерно монотонное возрастание показателя преломле-
ния с уменьшением длины волны (рис. 1).

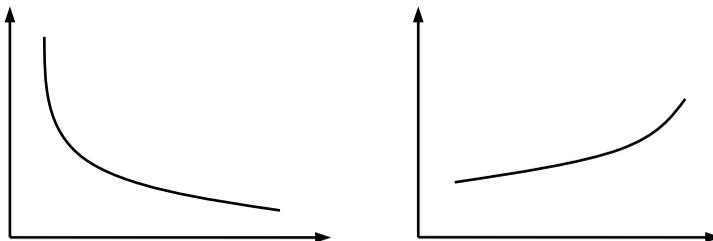


Рис. 1.

Зависимость показателя преломления от длины волны и ча-
стоты в случае нормальной дисперсии.

Основы теории дисперсии заключаются в рассмотрении взаимодействия световых волн с электронами, входящими в со-
став атомов и молекул. Электроны в атомах и молекулах удержи-
ваются около своих положений равновесия квазиупругими сила-
ми. Таким образом, электроны обладают определенным набором
собственных частот колебаний ν_{oi} . Под действием падающей
световой волны электроны в атомах и молекулах совершают вы-
нужденные колебания с частотой, совпадающей с частотой пада-
ющей световой волны ν (без учета затухания).

Первичная электромагнитная волна, распространяясь че-
рез вещество, вызывает вынужденные колебания электронов, и
они становятся источниками *вторичных* волн, которые складыва-
ясь с первичной, образуют результирующую волну с амплитудой
и фазой, отличными от амплитуды и фазы первичных волн. В ре-
зультате волна проходит через вещество с фазовой скоростью,
отличной от скорости, с которой она распространялась бы в ваку-
уме.

В идеальной однородной среде колеблющиеся электроны
возвращают всю падающую энергию в виде вторичных
волн, и поглощения света не происходит. В реальном теле

часть падающей энергии переходит в другие формы (главным образом, в тепловую) – наблюдается поглощение света.

Особый интерес представляет случай, когда частота световой волны ν совпадает с частотой собственных колебаний электронов ν_0 . При этих частотах энергия световой волны полностью поглощается веществом. Такое явление называется *резонансным поглощением* света, а соответствующая частота – *резонансной*. Именно в области резонансного поглощения наблюдается *аномальное* поведение дисперсии, т.е. с увеличением длины волны показатель преломления увеличивается.

Экспериментальная зависимость коэффициента преломления n и коэффициента поглощения χ от длины волны представлена на рис. 2.

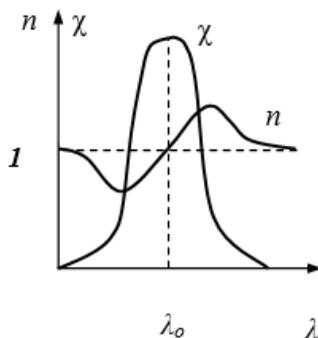


Рис. 2.

Зависимость показателя преломления n и коэффициента поглощения χ от длины волны вблизи одной из резонансных частот

(λ_0 - длина волны, соответствующая резонансной частоте ν_0)

Коэффициент преломления n принимает большие значения с длинноволновой стороны поглощения и малые – с ее коротковолновой стороны (рис. 2). Внутри самой полосы поглощения коэффициент преломления убывает с уменьшением длины волны (аномальная дисперсия).

ОПИСАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Гониометр Фёдорова представляет собой прибор, состоящий из источника света, коллиматора, зрительной трубы, столика и круговой шкалы (лимба) (рис.3). Коллиматор служит для получения параллельного пучка света от источника. Ширина пучка задается щелью, размеры которой регулируются микрометрическим винтом. В поле зрения зрительной трубы имеется вертикальная нить (визирная линия), с помощью которой происходит установка трубы при отсчете углов.

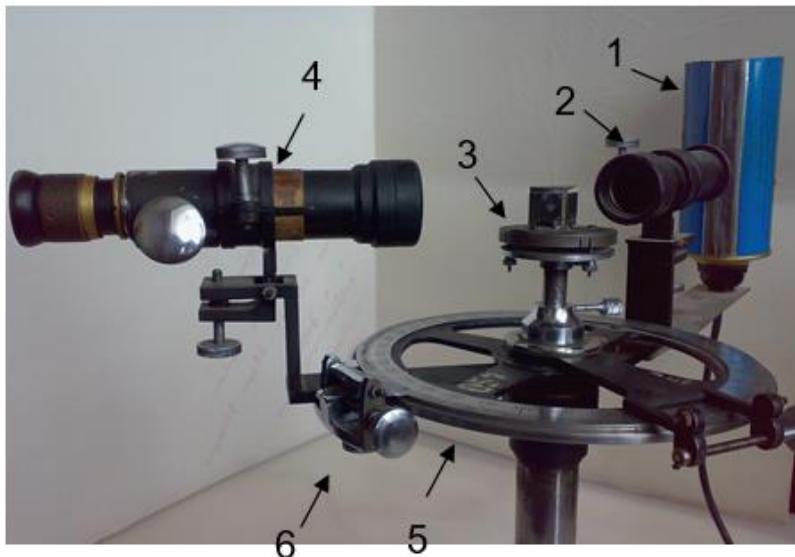


Рис. 3.

Устройство гониометра: 1 – источник света (лампа накаливания), 2 – коллиматор, 3 – столик с призмой, 4 – зрительная труба, 5 – лимб, 6 – отсчетное устройство.

Зрительная труба может перемещаться вдоль лимба. Грубое перемещение осуществляется поворотом трубы рукой, а тонкое – микрометрическим устройством при закрепленной трубе. Труба закрепляется винтом, который закручивается снизу вверх и находится под лимбом. Столик может вращаться вокруг вертикальной оси, а также перемещаться вверх-вниз и фиксироваться в любом положении соответствующим винтом. Горизонтальная установка плоскости столика производится при необходимости с помощью трех винтов, расположенных внизу столика. *Треугольная призма закреплена на столике неподвижно и ее поворот при*

выполнении работы осуществляется только путем поворота столика!

Лимб гониометра представляет собой неподвижный, горизонтально расположенный металлический диск, на который нанесены градусные деления, разделенные пополам (короткие штрихи). Цена деления лимба равна $0,5$ градуса или $30'$. Подвижная часть отсчетного устройства, соединенная со зрительной трубой, имеет шкалу, разделенную на 30 делений (шкала нониуса). Шкала нониуса позволяет производить отсчет установки зрительной трубы с точностью до $1'$ (рис. 4).



Рис. 4.
Лимб гониометра со шкалой нониуса

Отсчет положения зрительной трубы относительно лимба производится по шкале нониуса аналогично тому, как снимают показания штангенциркуля, с той лишь разницей, что одно деление лимба – $30'$, а одно деление нониуса $1'$. Так, показания на рис. 4 составляют $201^{\circ} 7'$.

Принцип наблюдения разложения белого света в спектр понятен из рис. 5.

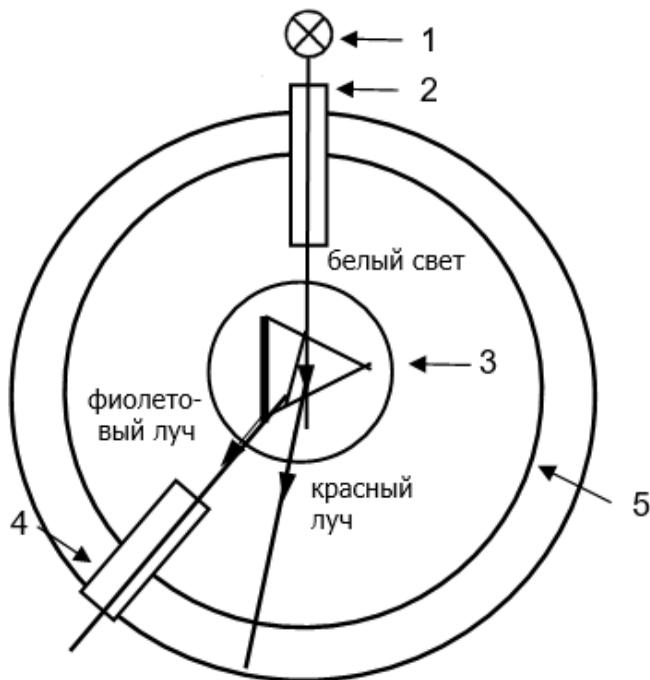


Рис. 5

Схема гониометра и разложение белого света в спектр с помощью призмы: 1 – источник света (лампа накаливания), 2 – коллиматор, 3 – столик с призмой, 4 – зрительная труба, 5 – лимб.

Рассматривая преломление света в призме можно получить формулу для вычисления показателя преломления n для определенной длины световой волны:

$$n = \frac{\sin\left(\frac{\alpha + \delta}{2}\right)}{\sin\frac{\alpha}{2}}, \quad (1)$$

где α – преломляющий угол призмы (в нашем случае $\alpha = 60^\circ$),

δ – угол наименьшего отклонения (угол между направле-

ниями падающего и отклонённого лучей в случае, когда внутри призмы луч идет параллельно основанию призмы (рис. 6)).

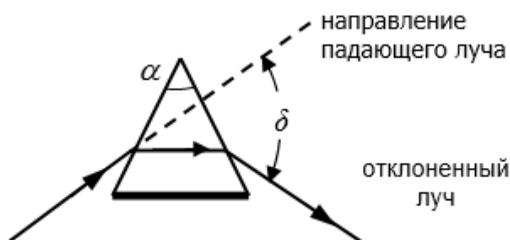


Рис. 6

Угол наименьшего отклонения δ для равнобедренной треугольной призмы с преломляющим углом α .

Таким образом, для определения показателя преломления n вещества призмы для различных длин волн света необходимо определить с помощью гониометра углы наименьшего отклонения δ для этих фиксированных длин волн.

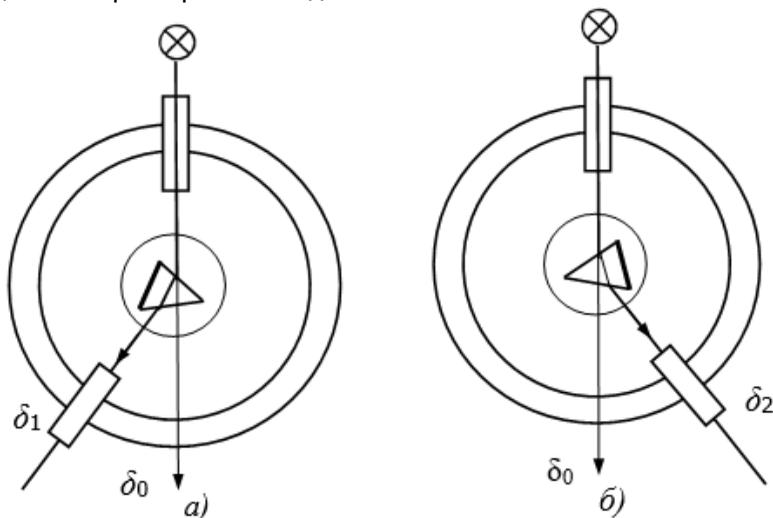


Рис. 7

Определение угла наименьшего отклонения δ при двух положениях призмы.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Опустить столик с призмой. Измерить угол прямого луча δ_0 . Для этого следует совместить визирную линию с изображением щели. Записать показания лимба и нониуса в таблицу.

2. Поднять столик с призмой и повернуть его так, чтобы основание призмы (зачерненная грань) составляло с осью коллиматора угол в $20\text{--}30^\circ$ **слева** (рис.7,а) (или справа (рис.7,б)) от наблюдателя. Рукой плавно (винт крепления зрительной трубы к лимбу при этом должен быть отпущен) переместить зрительную трубу влево до тех пор, пока в поле зрения не покажется цветной спектр. Затем, не трогая зрительную трубу, медленно повернуть столик с призмой по часовой стрелке (или против часовой стрелки), при этом спектр в поле зрения трубы начинает перемещаться вправо (влево). Может случиться, что спектр выйдет из поля зрения трубы, в этом случае надо немного переместить зрительную трубу вслед за спектром и вновь повернуть столик. Пройдя некоторое расстояние, спектр остановится и затем начнет перемещаться назад. В этот момент установить и закрепить столик с призмой. Так производится установка призмы на угол наименьшего отклонения.

3. Вращением микрометрического винта определить δ_1 или δ_2 (рис.7), устанавливая последовательно визирную линию на основные цвета спектра: красный, желтый, зеленый, синий, фиолетовый и записывая показания лимба и нониуса в таблицу. Измерения произвести три раза.

4. Вычислить углы наименьшего отклонения δ для различных цветов спектра по формуле: $\delta = \delta_1 - \delta_0$ или $\delta = \delta_0 - \delta_2$.

5. Выразить значения δ в градусах, учитывая, что 1 градус равен 60 минутам

(например, $\delta = 201^\circ 7' = 201^\circ + (7/60)^\circ \approx 201,1^\circ$).

6. По формуле (1) вычислить значения показателя преломления n (с точностью до тысячных) для длин волн λ , указанных в таблице. Построить график зависимости показателя преломления $n = f(\lambda)$ и определить характер дисперсии (нормальная или аномальная).

Таблица

$\delta_0 =$	$\alpha = 60^\circ$			$\sin \frac{\alpha}{2} = 0,5$		
λ (нм)		Красный 700	Желтый 570	Зеленый 540	Синий 470	Фиолетовый 400
$\delta_1 (\delta_2)$	1					
	2					
	3					
	ср					
δ	-					
δ (град)	-					
$\sin\left(\frac{\alpha + \delta}{2}\right)$	-					
n	-					

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каков физический смысл абсолютного и относительного показателя преломления вещества?
2. Что называется дисперсией света?
3. Чем отличается нормальная дисперсия от аномальной?
4. Что называется дисперсией вещества?
5. Как определяется угол наименьшего отклонения?
6. Как определяется длина волны в вакууме и в некоторой среде?
7. Как определяется коэффициент преломления вещества призмы в данной работе?
8. В чем заключается электронная теория дисперсии света?

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова Т. И. Курс физики.- М.: Высш. шк., 2016
2. Яворский Б. М., Детлаф А. А. Справочник по физике.- М.:Наука, 2006