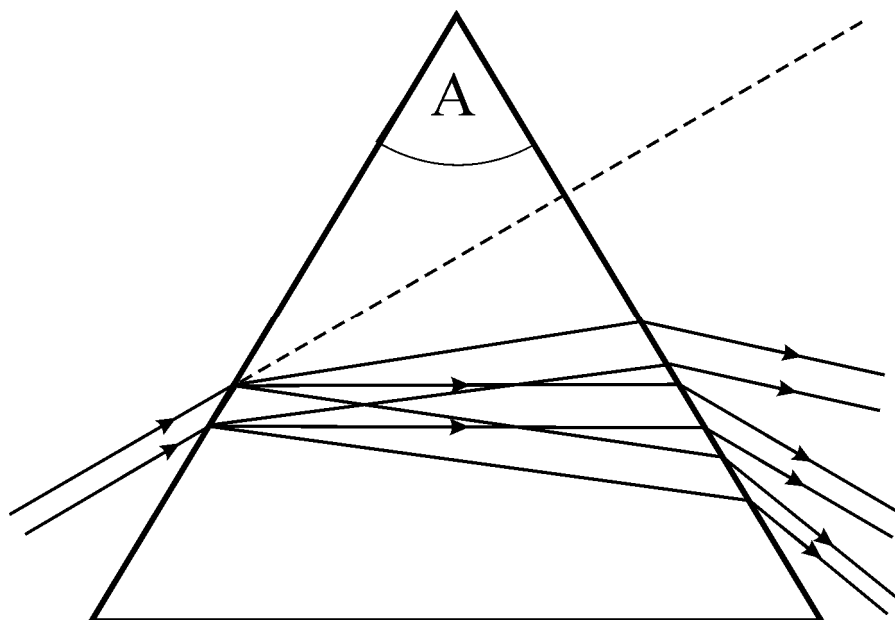


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗУЧЕНИЕ ДИСПЕРСИИ СВЕТА

Методические указания
к лабораторной работе



УДК 621.317

Изучение дисперсии света: методические указания к лабораторной работе / Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: Б.С. Бобров, А.Е. Малютин; под ред. А.П. Соколова. Рязань, 2015. 8 с.

Описывается явление дисперсии света, кратко изложены теория и метод эксперимента, даны описание экспериментальной установки и рекомендации по выполнению лабораторной работы.

Предназначены для студентов всех направлений подготовки бакалавров и специальностей, изучающих дисциплину «Физика».

Ил. 7. Библиогр.: 4 назв.

Дисперсия света, дисперсия вещества, угловая дисперсия, показатель преломления

Печатается по решению редакционно-издательского совета Рязанского государственного радиотехнического университета.

Рецензент: кафедра общей и экспериментальной физики РГРТУ
(зав. кафедрой доц. М.В. Дубков)

Изучение дисперсии света

Составители: Б о б р о в Борис Сергеевич
М а л ю т и н Александр Евгеньевич

Редактор Р.К. Мангутова

Корректор С.В. Макушина

Подписано в печать 24.04.15. Формат бумаги 60 × 84 1/16.

Бумага писчая. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 0,5.

Тираж 200 экз. Заказ

Рязанский государственный радиотехнический университет.

390005, Рязань, ул. Гагарина, 59/1.

Редакционно-издательский центр РГРТУ.

Цель работы: исследование нормальной дисперсии показателя преломления стекла при прохождении света через призму.

Приборы и принадлежности: гониометр, ртутная лампа, стеклянная призма.

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ

Электромагнитные волны распространяются в среде с фазовой скоростью v , определяемой соотношением

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}, \quad (1)$$

где $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0\mu_0}}$ – скорость света в вакууме, ϵ – диэлектрическая проницаемость среды, μ – магнитная проницаемость.

Оптические свойства среды характеризуются абсолютным показателем преломления, указывающим во сколько раз фазовая скорость света в среде меньше, чем в вакууме:

$$n = \frac{c}{v} = \sqrt{\epsilon\mu}. \quad (2)$$

Так как для большинства прозрачных веществ (диа- и парамагнетиков) $\mu \approx 1$, то можно считать

$$n = \sqrt{\epsilon}. \quad (3)$$

Эта формула связывает оптические свойства вещества с его электрическими свойствами. Однако в этой формуле необходимо учитывать, что диэлектрическая проницаемость вещества для быстропеременных электромагнитных полей может существенно отличаться от стационарной и зависит от частоты (или длины волны).

Дисперсией света называются явления, обусловленные зависимостью показателя преломления вещества от длины световой волны. Эту зависимость можно охарактеризовать функцией

$$n = f(\lambda_0), \quad (4)$$

где λ_0 – длина световой волны в вакууме.

Дисперсией вещества называется производная n по λ_0 ($dn/d\lambda_0$).

Для всех прозрачных бесцветных веществ с уменьшением длины волны показатель преломления увеличивается, так что дисперсия вещества отрицательна ($dn/d\lambda_0 < 0$) и растет по модулю с уменьшением λ_0 . Такой ход зависимости носит название *нормальная дисперсия* (участки 1-2 и 3-4 на рис. 1).

Если вещество поглощает часть падающих на него лучей, то вблизи линии поглощения характер дисперсии вещества изменяется – она становится положительной ($dn/d\lambda_0 > 0$). Эта зависимость называется *аномальная дисперсия* (участок 2-3 на рис. 1).

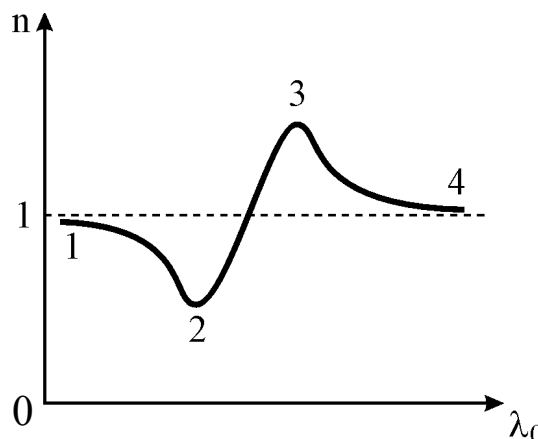


Рис. 1

Явление дисперсии света объясняется на основе электромагнитной теории и электронной теории вещества. Для качественного понимания достаточно ограничиться рассмотрением электронов в атоме как упругих осцилляторов. Световая волна в веществе возбуждает вынужденные колебания этих осцилляторов, и они излучают вторичные волны. Затухание волны вследствие поглощения можно учесть, введя "силу трения излучения". Если рассматривать только область нормальной дисперсии, то можно пренебречь затуханием и тогда уравнение вынужденных колебаний электрона под действием электрического поля будет иметь вид

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = -\frac{e}{m} E(t), \quad (5)$$

где $E(t) = E_0 \cos(\omega t + \varphi_0)$ – напряженность электрического поля световой волны, ω_0 – собственная частота колебаний осциллятора.

Решением этого уравнения будет функция

$$x(t) = -\frac{eE(t)}{m(\omega_0^2 - \omega^2)}. \quad (6)$$

Молекулу, в которой электрон с собственной частотой ω_{0k} смещен на расстояние x_k от положения равновесия, можно представить как диполь с дипольным моментом

$$p(t) = -\sum_k e x_k(t) = \sum_k \frac{e^2 E(t)}{m(\omega_{0k}^2 - \omega^2)}, \quad (7)$$

где сумма берется по всем электронам. Тогда, учитывая, что концентрация молекул равна N , получаем для диэлектрической проницаемости формулу

$$\varepsilon = 1 + \frac{P(t)}{\varepsilon_0 E(t)} = 1 + \frac{Np(t)}{\varepsilon_0 E(t)}, \quad (8)$$

где P – поляризованность вещества. Подставляя сюда $p(t)$ из (7), получаем по формуле (3) значение показателя преломления в случае нормальной дисперсии:

$$n = \sqrt{1 + \frac{e^2 N}{\varepsilon_0 m} \sum_k \frac{1}{\omega_{0k}^2 - \omega^2}}. \quad (9)$$

Полученная зависимость представлена на рис. 2. Вблизи точек разрыва графика выражение (9) не будет справедливо, так как при выводе мы пренебрегли затуханием. В этих областях будет наблюдаться аномальная дисперсия, показанная пунктирной линией.

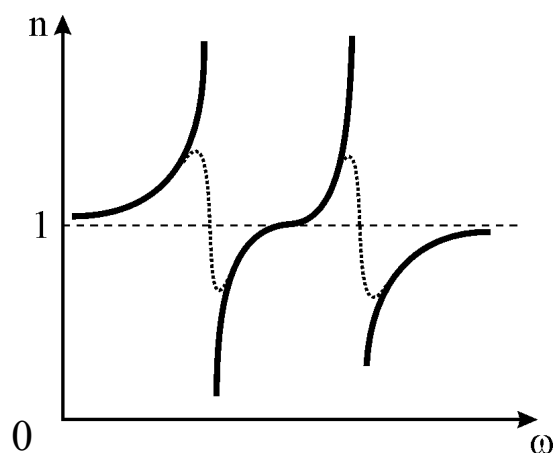


Рис. 2

МЕТОД ЭКСПЕРИМЕНТА

В работе исследуется зависимость показателя преломления стекла от длины волны при разложении света призмой. Используемый здесь метод основан на измерении *угла наименьшего отклонения* луча, претерпевшего преломление в трехгранной призме.

Ход луча в призме приведен на рис. 3. При падении луча под некоторым углом α на боковую поверхность призмы в точке C он дважды испытывает преломление, каждый раз отклоняясь к основанию призмы. Угол отклонения δ луча, вышедшего из призмы, будет наименьшим, если внутри призмы луч

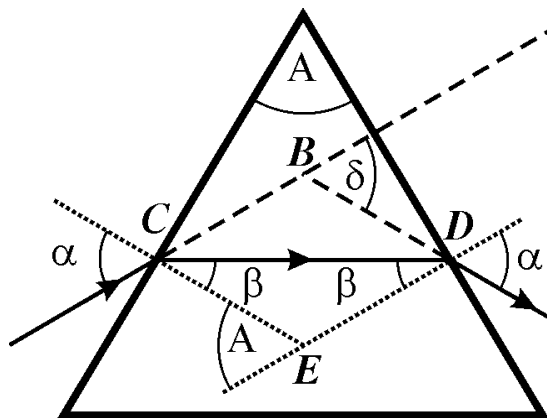


Рис. 3

идет параллельно ее основанию. В этом случае угол падения на вторую грань в точке **D** будет равен углу преломления на первой грани – β , а угол преломления равен α . *Преломляющий угол* призмы A (то есть угол между боковыми гранями) будет внешним для треугольника CDE , а угол наименьшего отклонения δ – для треугольника BCD . Следовательно,

$$A = 2\beta, \quad \delta = 2(\alpha - \beta). \quad (10)$$

Выражаем отсюда углы падения и преломления:

$$\beta = A/2, \quad \alpha = \frac{\delta}{2} + \beta = \frac{\delta + A}{2}. \quad (11)$$

Подставляя эти значения в закон Снеллиуса, получаем формулу для расчета показателя преломления:

$$n = \frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)} = \frac{\sin\left(\frac{\delta + A}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)}. \quad (12)$$

Таким образом, если известен преломляющий угол призмы A , то измерение показателя преломления для разных длин волн сводится к измерению угла наименьшего отклонения δ .

Зависимость показателя преломления от длины волны позволяет использовать трехгранную призму в качестве спектрального прибора, с помощью которого исследуется состав излучения источника света. Одной из основных характеристик спектрального прибора является *угловая дисперсия*. Она характеризует способность спектрального прибора пространственно разделять пучки лучей различных длин волн. Числовой мерой угловой дисперсии является отношение $d\varphi/d\lambda$, где $d\varphi$ – угловое расстояние между спектральными линиями, отличающимися на $d\lambda$. Для трехгранной призмы угловая дисперсия вблизи угла наименьшего отклонения равна

$$\frac{d\varphi}{d\lambda} = \frac{2\sin\left(\frac{A}{2}\right)}{\sqrt{1 - n^2 \sin^2\left(\frac{A}{2}\right)}} \frac{dn}{d\lambda}. \quad (13)$$

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

На рис. 4 изображен гониометр – прибор для измерения углов между световыми лучами. Свет от источника 1, в качестве которого использована ртутная лампа, проходит через щель 2 коллиматора 3 и параллельным пучком падает на призму 9, установленную на поворотном столике 8 гониометра 4. Зрительная труба 5 гониометра может поворачиваться вокруг вертикальной оси и позволяет наблюдать изображение входной щели коллиматора. Угловое положение зрительной трубы определяют по круговой шкале (лимбу) 7 и дополнительной шкале (нониусу) 6 гониометра.

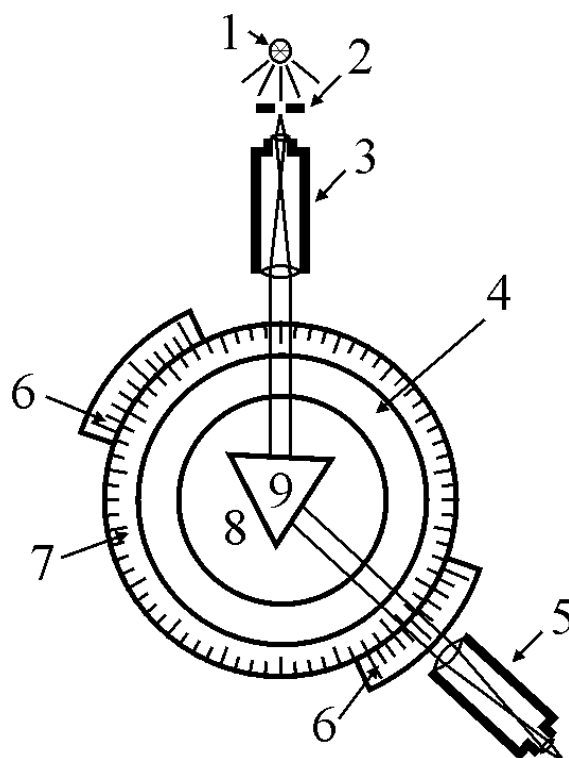


Рис. 4

Отсчёт углов по лимбу и нониусу производится следующим образом. Сначала по лимбу отсчитывается угол в градусах, который определяется по метке лимба, совпадающей с нулевой меткой нониуса. Если метки нониуса и лимба не совпадают, то угол определяется по ближайшей справа метке лимба. Каждая метка лимба соответствует одному градусу. На рис. 5 показания лимба (расположен внизу) составляют 203° – ближайшая справа метка от нулевой метки нониуса (расположен вверху). Далее по нониусу отсчитываются минуты. Показания определяются по той метке нониуса, которая совпадает с меткой лимба (при показании $30'$ совпадают обе метки, отмеченные цифрой 30). Каждая метка нониуса соответствует $5'$. На рис. 5 показания нониуса составляют $15'$. Таким образом, измененный угол составляет $203^\circ 15'$.

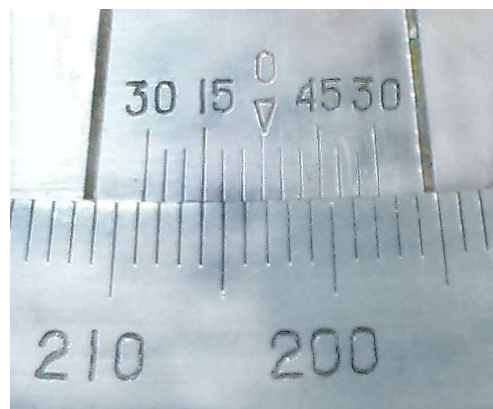


Рис. 5

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Измерение углов наименьшего отклонения

1.1. Перед щелью коллиматора поместить ртутную лампу. Включить её (*ртутная лампа включается от специального блока питания*). Установить трубу гониометра таким образом, чтобы отчётливо наблюдалась входная щель коллиматора. Измерить положение φ_0 зрительной трубы, при котором изображение щели совмещается с вертикальной линией шкалы окуляра.

1.2. Поместить призму на столик согласно рис. 6. При этом биссектриса угла А должна быть перпендикулярна к оси коллиматора, а основание призмы должно быть справа (или слева) от наблюдателя. Затем столик с призмой повернуть примерно на $30\text{--}40^\circ$ против часовой стрелки. Поворачивать зрительную трубу вправо (или влево) к основанию призмы, пока в поле зрения не появится жёлтая линия спектра ртутной

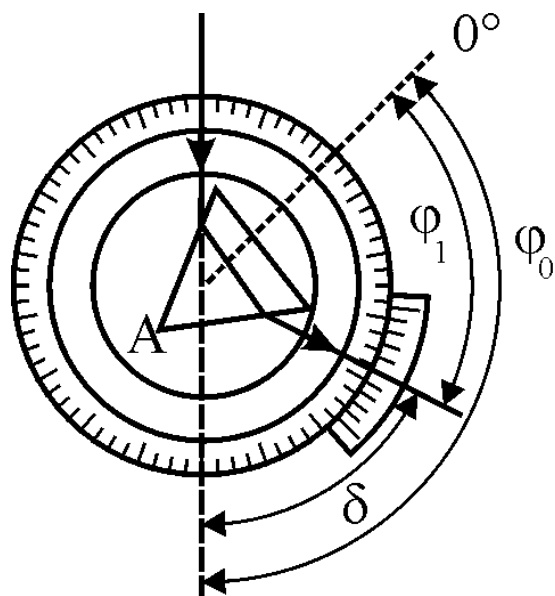


Рис. 6

лампы. Спектр обнаруживается и невооружённым глазом справа от первоначального положения трубы. После обнаружения спектра сфокусировать зрительную трубу на жёлтую линию. Слегка поворачивая столик с призмой вправо и влево, пронаблюдать, как перемещается жёлтая линия. Затем поворачивать столик в таком направлении, чтобы жёлтая линия двигалась бы влево (к положению φ_0). Если при этом жёлтая линия выходит из поля зрения, трубу следует вести за линией. Отклонившись на некоторый угол влево, линия останавливается и затем начинает идти обратно (при вращении столика с призмой в том же направлении). В момент остановки жёлтой линии положение призмы соответствует установке на угол наименьшего

отклонения для жёлтых лучей. В этом положении столик следует остановить и, повернув трубу, совместить вертикальную нить окуляра с серединой жёлтой линии. Произвести отсчёт по лимбу и нониусу. Это — угол φ_1 .

1.3. Вычислить угол наименьшего отклонения для жёлтой линии спектра: $\delta_1 = |\varphi_1 - \varphi_0|$.

1.4. Для получения второго значения δ_2 этого угла столик с призмой повернуть так, чтобы основание призмы находилось слева от наблюдателя. Полностью повторить пп. 1.3-1.4. После этого по формуле $\delta = (\delta_1 + \delta_2)/2$ определить угол наименьшего отклонения для жёлтой линии ($\lambda = 578$ нм).

1.5. Аналогичным образом определить углы наименьшего отклонения для остальных линий ртутного спектра (зелёной — $\lambda = 546$ нм и сине-фиолетовой — $\lambda = 436$ нм).

2. Измерение угла преломления призмы

Поместить призму согласно рис. 7 и произвести отсчёты положений зрительной трубы для изображений входной щели при отражении света от левой и правой граней призмы (углы φ и φ' соответственно). Тогда угол преломления призмы будет равен

$$A = |\varphi - \varphi'|/2. \quad (14)$$

3. Зная A и δ , вычислить по формуле (12) показатели преломления призмы для указанных линий спектра ртути.

4. Построить график зависимости $n = f(\lambda)$.

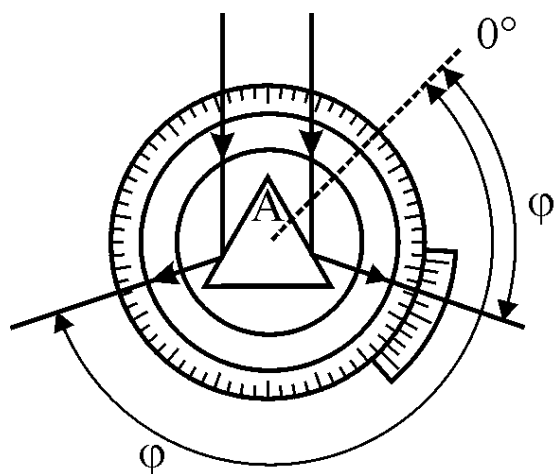


Рис. 7

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. В чём заключается явление дисперсии света? Что такое дисперсия вещества?
2. Что такое угловая дисперсия?
3. Что понимается под нормальной и аномальной дисперсией?
4. Вывести зависимость показателя преломления от частоты световой волны в случае нормальной дисперсии.
5. Что такое преломляющий угол призмы и угол наименьшего отклонения?
6. Вывести величину показателя преломления через угол наименьшего отклонения.
7. Доказать, что преломляющий угол призмы $A = |\varphi - \varphi'|/2$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савельев И.В. Курс физики: учебник. Том 2: Электричество. Колебания и волны. Волновая оптика. 3-е изд., стереотип. М.: Лань, 2005. 480 с.
2. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1990. С. 478 с.
3. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики: учеб. пособие для вузов. 8-е изд., стереотип. М.: Академия, 2009. 720 с.
4. Курс физики: учебник для вузов: В 2 т. Т. 1. 2-е изд., испр. / под. ред. В.Н. Лозовского. СПб.: Лань, 2001. 576 с.