

Содержание

1. Цель работы.....	4
2. Теоретическая часть.....	4
2.1. Дисперсия света.....	4
2.2. Описание установки.....	8
3. Приборы и принадлежности.....	10
4. Требования по технике безопасности.....	10
5. Порядок выполнения работы.....	10
5.1. Определение преломляющего угла призмы.....	10
5.2. Определение угла наименьшего отклонения призмы и его зависимости от длины волны.....	11
6. Контрольные вопросы.....	13
Список литературы.....	13

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 67

ИЗУЧЕНИЕ ДИСПЕРСИИ СВЕТА

1. Цель работы

Определение преломляющего угла стеклянной призмы, угла наименьшего отклонения лучей, а также показателя преломления призмы для разных световых волн.

2. Теоретическая часть

2.1. Дисперсия света

Дисперсией света называется явление, обусловленное зависимостью показателя преломления $n = \frac{c}{v}$ среды от длины волны λ или частоты ω световой волны. Дисперсия света есть одно из проявлений взаимодействия световых волн с веществом.

Из электромагнитной теории Максвелла следует, что абсолютный показатель преломления среды n связан с диэлектрической и магнитной проницаемостями ϵ и μ соотношением $n = \sqrt{\epsilon\mu}$.

Для прозрачных и полупрозрачных неферромагнитных материалов, в которых распространяется световая волна $\mu=1$. Поэтому $n = \sqrt{\epsilon}$ и для вывода зависимости $n=f(\lambda)$ или $n=f(\omega)$ найдем, как зависит диэлектрическая проницаемость от частоты переменного электрического поля.

В классической электронной теории Лоренца дисперсия света рассматривается как результат взаимодействия электромагнитных волн с заряженными частицами, входящими в состав атомов вещества и совершающих вынужденные колебания в переменном электромагнитном поле волны.

При прохождении электромагнитной волны через вещество внешние или валентные электроны атомов среды под действием электрической составляющей световой волны

$$E = E_0 \cos(\omega t + \alpha) \quad (1)$$

начнут колебаться. Амплитуда вынужденных колебаний

определяется как

$$A = \frac{e E_0 / m}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2}}, \quad (2)$$

где E_0 – амплитуда напряженности электрического поля световой волны; ω_0 – собственная частота колебаний электрона; e, m – заряд и масса электрона; β – коэффициент затухания.

Чтобы упростить вычисления, пренебрежем затуханием колебаний, связанным с потерей энергии вследствие излучения, со столкновениями, приводящими к тушению колебаний, с хаотическим тепловым движением атомов (эффект Доплера).

Для простоты рассмотрим колебания только одного оптического электрона. Под влиянием поля световой волны (1) оптический электрон смещается из положения равновесия на расстояние

$$x = A \cos(\omega t + \alpha), \quad (3)$$

превращая атом в электрическую систему с дипольным моментом

$$P = ex. \quad (4)$$

Если концентрация атомов в диэлектрике равна n_0 , то мгновенное значение вектора поляризации

$$P = n_0 p = n_0 ex. \quad (5)$$

Вместе с тем известно, что диэлектрическая проницаемость

$$\epsilon = 1 + \kappa = 1 + \frac{4\pi P}{E}, \quad (6)$$

где κ – диэлектрическая восприимчивость среды.

Следовательно

$$n^2 = \epsilon = 1 + \frac{4\pi P}{E}. \quad (7)$$

Выполнив последовательные подстановки в формулу (7) выражений (2–5) и приняв коэффициент затухания $\beta=0$, получим

$$n^2 = 1 + \frac{4\pi n_0 (e^2 / m)}{\omega_0^2 - \omega^2}. \quad (8)$$

Из выражения (8) следует, что показатель преломления среды n зависит от частоты ω внешнего поля, т. е. найденная формула подтверждает явление дисперсии света.

На рис. 2.1 представлена зависимость $n^2 = f(\omega)$. За исключением точки $\omega = \omega_0$, где функция терпит разрыв, показатель преломления растет с увеличением частоты падающей световой волны. В этом случае говорят, что дисперсия нормальная ($dn/d\omega > 0$ или $dn/d\lambda < 0$, участки *ав* и *сд* сплошные кривые).

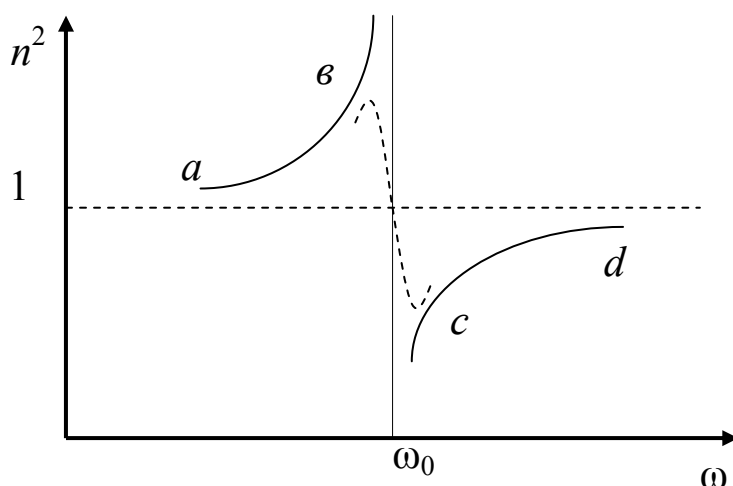


Рис. 2.1

В видимой части спектра, где все прозрачные тела не имеют полос поглощения, справедливо неравенство $\omega \ll \omega_0$, что соответствует левой части кривой. Опыт показывает, что для прозрачных тел $n_{\text{фиол}} > n_{\text{кр}}$.

Учет затухания приводит к зависимости n^2 от ω , показанной на рис. 2.1 пунктирной линией (участок bc). Для этого участка $dn/d\omega < 0$ или $dn/d\lambda > 0$, т. е. показатель преломления уменьшается с увеличением частоты падающего света. Это область аномальной дисперсии, которая лежит в окрестности собственных частот колебаний электронов. В этой области амплитуда колебаний электронов резко возрастает вследствие резонанса. Энергию на такое большое смещение от положения равновесия электрон получает от световой волны, т. е. в области аномальной дисперсии происходит сильное поглощение света.

Изучение показателя преломления и его зависимости от длины волны (или частоты) позволяет решать вопросы определения структуры сложных молекул, состава смесей, плотности вещества, типа связи между атомами, а так же имеет большое значение в оптическом приборостроении.

Один из методов определения показателя преломления n прозрачных веществ и его зависимости от длины волны основан на использовании закона преломления света и измерения угла наименьшего отклонения.

Пусть на призму рис. 2.2, угол при вершине которой, т. е. преломляющий угол, равен P , падает световая волна частоты ω , угол падения равен i_1 . При симметричном ходе лучей в призме, когда $i_1 = i_2$ и $r_1 = r_2$, наблюдается минимальное отклонение света. В этом случае

световая волна в призме распространяется параллельно основанию. Угол наименьшего отклонения δ , преломляющий угол P и показатель преломления связаны между собой соотношением

$$n = \frac{\sin\left(\frac{P+\delta}{2}\right)}{\sin\frac{P}{2}}. \quad (9)$$

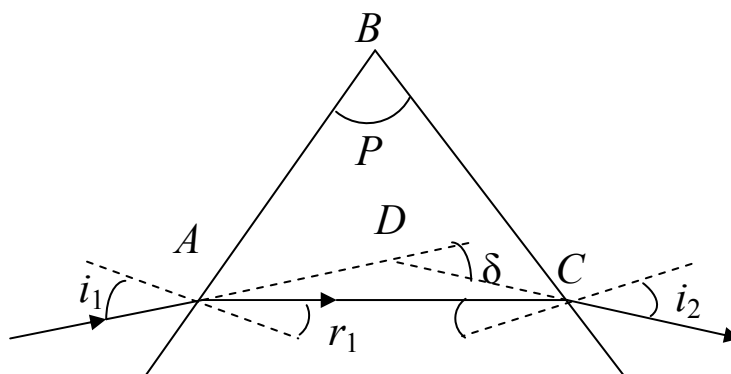


Рис. 2.2

Угол отклонения лучей призмой тем больше, чем больше преломляющий угол призмы.

Для нахождения преломляющего угла призмы нужно измерить угол α между двумя отраженными лучами 1' и 2' рис. 2.3.

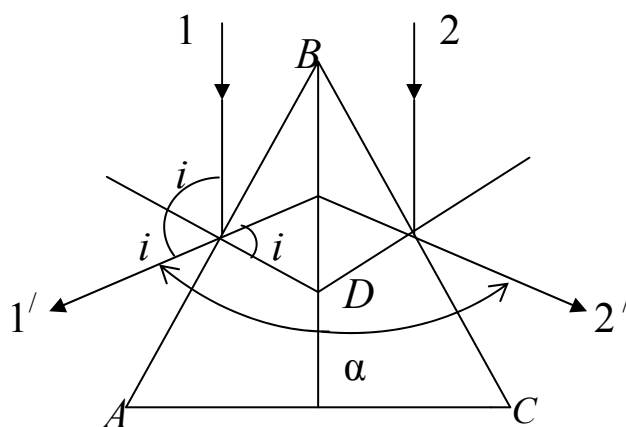


Рис. 2.3

Тогда

$$P = \frac{\alpha}{2}. \quad (10)$$

Метод определения угла наименьшего отклонения описан в разделе 5 «Порядок выполнения работы».

2.2. Описание установки

Работа выполняется на установке, включающей в себя источник света и гониометр с призмой.

Источником света служит ртутно – кварцевая лампа. В видимой области спектр ртути содержит четыре наиболее яркие линии: желтую ($\lambda=579$ нм), зеленую ($\lambda=548$ нм), синюю ($\lambda=435,8$ нм), фиолетовую ($\lambda=404,7$ нм). Гониометр Г5 является оптическим контрольно – измерительным прибором для точного измерения углов.

Прибор состоит из зрительной трубы 1 рис. 2.4, коллиматора 2, основания 3 с осевой системой и столиком 17. Фокусировка зрительной трубки и коллиматора производится маховичками 4 и 5, Зрительная труба 1 со стойкой крепится к алидаде 6. Коллиматор установлен на стойке 7, которая закреплена неподвижно на основании 3. На стеклянную поверхность лимба гониометра нанесена шкала с делениями (на рис. 2.4 лимб не показан). Оцифровка делений произведена через 1° . Лимб гониометра и сетки окуляров освещаются лампой, которая помещена в подсветке. Прибор включается в сеть переменного тока общим выключателем 8.

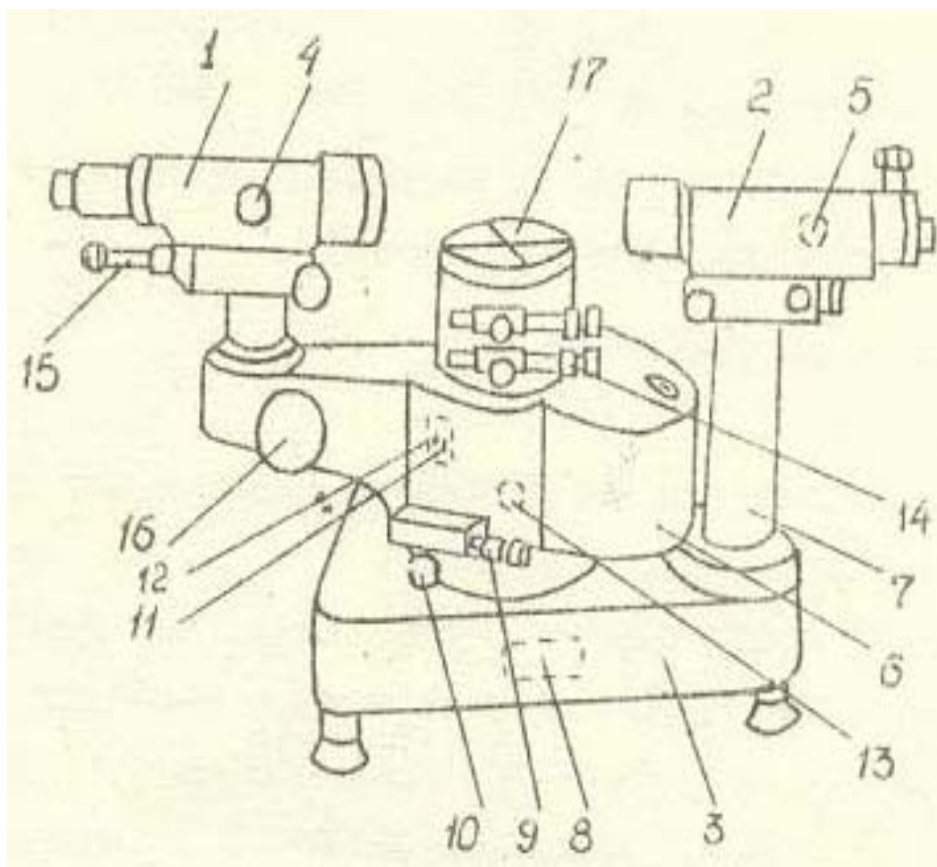


Рис. 2.4

Алидада вращается относительно оси прибора и установленного на ней лимба грубо от руки и точно микрометрическим винтом 9 при зажатом винте 10. Лимб может вращаться также вместе с алидадой. Включение и выключение лимба для совместного или раздельного вращения с алидадой осуществляется рычажками 11 и 12. Вращение лимба относительно предметного столика 17 и алидады осуществляется маховиком 13. Вращение лимба вместе со столиком производится грубо от руки и точно микрометрическим винтом 14.

Отсчет производится через микроскоп 15. При этом надо повернуть маховичок 16 настолько, чтобы верхние и нижние двойные штрихи лимба в левом окне поля зрения точно совместились рис 2.5.

Число градусов будет равно видимой ближайшей левой от вертикального индекса цифре 45 рис. 2.5. Число десятков минут равно числу интервалов, заключенных между верхним штрихом, который соответствует отсчитанному числу градусов, и нижним оцифрованным штрихом, отличающимся от верхнего на 180° . Число единиц минут отсчитывается по шкале в правом окне поля зрения по левому ряду чисел. Число десятков секунд – в том же окне по правому ряду чисел. Число единиц секунд отсчитывается с помощью неподвижного горизонтального индекса. Положение, показанное на рис. 2.5, соответствует отсчету $45^\circ 15' 37''$.



Рис. 2.5

3. Приборы и принадлежности

Гониометр Г5;
стеклянная треугольная призма;
ртутная лампа в кожухе;
дроссель.

4. Требования по технике безопасности

4.1. Прежде чем приступить к работе, внимательно ознакомьтесь с заданием и оборудованием.

4.2. Проверьте заземление лабораторной установки и изоляцию токонесущих проводов.

4.3. Немедленно сообщите преподавателю или лаборанту о замеченных неисправностях.

4.4. В целях предохранения окружающих от ожогов и от действия на глаза ультрафиолетового излучения, запрещается снимать кожух с ртутной лампы.

4.5. Не оставляйте без присмотра включенную в сеть лабораторную установку, это может привести к несчастному случаю.

4.6. Выключать ртутную лампу можно после окончания измерений. Повторное включение горевшей лампы возможно только после ее охлаждения (приблизительно 10 минут), когда давление паров ртути понизится настолько, что напряжение зажигания разряда станет ниже напряжения цепи, питающей лампы.

4.7. По окончании работы приведите в порядок свое рабочее место. Обесточьте приборы.

5. Порядок выполнения работы

5.1. Определение преломляющего угла призмы

1. В присутствии преподавателя или лаборанта включить ртутную лампу.

2. Установить коллиматор 2 гониометра рис. 2.4 напротив отверстия в кожухе ртутной лампы так, чтобы расстояние между щелью коллиматора и лампой было не более 1–2 см.

3. Установить зрительную трубку 1 так, чтобы она была напротив коллиматора. Маховичками 4 и 5 добиться резкого изображения щели.

4. Навести визирную линию на середину изображения.

5. Поставить стеклянную призму на предметный столик 17 так, чтобы биссектриса преломляющего угла была параллельна пучку света, и чтобы свет падал на обе грани рис. 2.3. Основание призмы, которым может быть любая грань, должно быть приблизительно перпендикулярно оси коллиматора.

6. Повернуть зрительную трубку вправо, найти изображение щели в отраженном свете, визирная линия должна находиться на середине изображения.

7. Произвести отсчет угла φ_1 через микроскоп 15 по лимбу рис. 2.4.

8. Повернуть зрительную трубку влево, найти изображение щели в отраженном свете от левой грани призмы, произвести отсчет угла φ_2 .

9. Рассчитать преломляющий угол призмы

$$P = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2}.$$

Если при переходе от угла φ_1 к φ_2 проходят через ноль делений лимба, тогда преломляющий угол призмы рассчитывается как

$$P = \frac{(360^\circ - \varphi_2) + \varphi_1}{2}$$

(через φ_2 обозначается больший отсчет).

5.2. Определение угла наименьшего отклонения призмы и его зависимости от длины волны

1. Снять призму со столика и установить зрительную трубку так, чтобы визирная линия находилась на середине изображения щели коллиматора. Произвести отсчет φ_0 , занести его в таблицу. Этот отсчет соответствует направлению неотклоненных лучей, выходящих из коллиматора.

2. Повернуть зрительную трубку влево на угол порядка 30° и установить призму на предметном столике так, чтобы биссектриса преломляющего угла ее приблизительно совпала с биссектрисой

меньшего тупого угла между осями зрительной и коллиматорной труб, а основание призмы было бы внутри этого угла рис. 5.1.

3. Навести зрительную трубку на желтую линию спектра ртути. Совместить визирную линию с желтой линией спектра. Закрепить зрительную трубу.

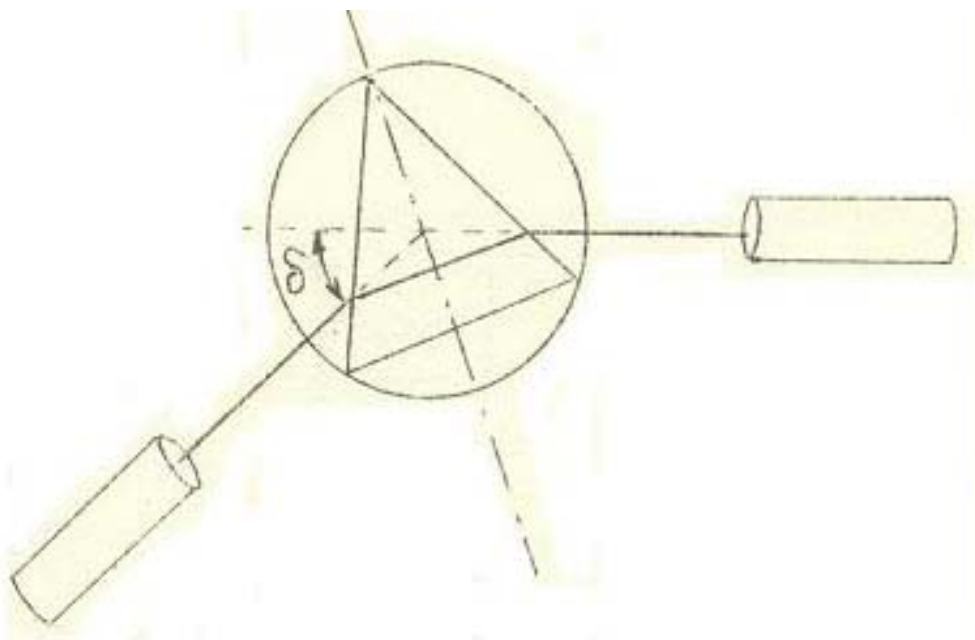


Рис. 5.1

4. Предметный столик с призмой повернуть немного вправо и влево, наблюдая за тем, как перемещается желтая линия (при этом стопорная головка должна находиться в крайнем левом положении). Затем столик поворачивают в таком направлении, чтобы желтая линия двигалась к положению неотклоненного луча. Если при этом желтая линия выходит из поля зрения, трубу следует вести вслед за линией.

Отклонившись на некоторый угол, линия останавливается, а затем начинает двигаться обратно (при вращении столика с призмой в том же направлении). В момент остановки желтой линии положение призмы соответствует установке ее на угол наименьшего отклонения желтых лучей (т.е. преломленный луч в призме идет параллельно основанию).

5. В этом положении столик с призмой закрепить. Повернуть зрительную трубу до совмещения визирной линии с серединой желтой линии. Наблюдая в микроскоп 15, произвести отсчет угла φ_i , занести его в таблицу.

6. Аналогичным образом определить угол наименьшего отклонения для других линий спектра ртути (зеленой, синей, фиолетовой).

7. Вычислить углы наименьшего отклонения для всех линий спектра ртути

$$\delta_{\min,i} = |\varphi_i - \varphi_0|.$$

8. Зная преломляющий угол призмы P и угол наименьшего отклонения δ_{\min} , вычислить по формуле (9) показатель преломления для каждой линии спектра ртути.

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

Линии спектра	Длина волны, нм	φ_0	φ_i	δ_{\min}	n
желтая	579				
зеленая	546				
синяя	435,8				
фиолетовая	404,7				

6. Контрольные вопросы

1. Что такое дисперсия света, электронная теория дисперсии света?

2. Что такое нормальная дисперсия, когда наблюдается аномальная дисперсия?

3. Как экспериментально определить преломляющий угол призмы?

4. Что такое угол наименьшего отклонения призмы, как его определяют?

5. Как экспериментально проверяется зависимость $n=f(\lambda)$?

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

7. При каком условии угол отклонения луча призмой принимает наименьшее значение?

8. Изменится ли результат измерения n , P , δ при изменении длины волны источника света?

Список литературы

1. Савельев И. В. Курс общей физики. Т. 3. – М.: Наука, 1998.
2. Трофимова Т. И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2001.
3. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Т. 4. – М.: Наука, 1985.