

Лабораторная работа №12

ИЗУЧЕНИЕ ДИСПЕРСИИ ПРИЗМЫ ГОНИОМЕТРОМ ГС-5

Приборы и принадлежности:

Гониометр-спектрометр ГС-5, призма из стекла флинт, источник монохроматического света (ртутная лампа с блоком питания) рис. 1.



Рис. 1. Общий вид лабораторной установки.

Введение

В основах всех построений лучевой оптики лежат законы преломления и отражения света. При явлениях отражения и преломления света соблюдается закон обратимости световых лучей.

Пусть среда 1 отделена от вакуума тонкой плоскопараллельной пластинкой среды 2 (рис. 2). Пусть n_1 , n_2 , N_{12} — абсолютные и относительные показатели преломления соответствующих сред. Из рис. 2 ясно, что

$$\frac{\sin i}{\sin \alpha} = n_2, \quad \frac{\sin \alpha}{\sin r} = N_{12}. \quad \text{Отсюда} \quad \frac{\sin i}{\sin r} = n_2 N_{12}. \quad \text{Эта формула справедлива}$$

при любой толщине среды 2.

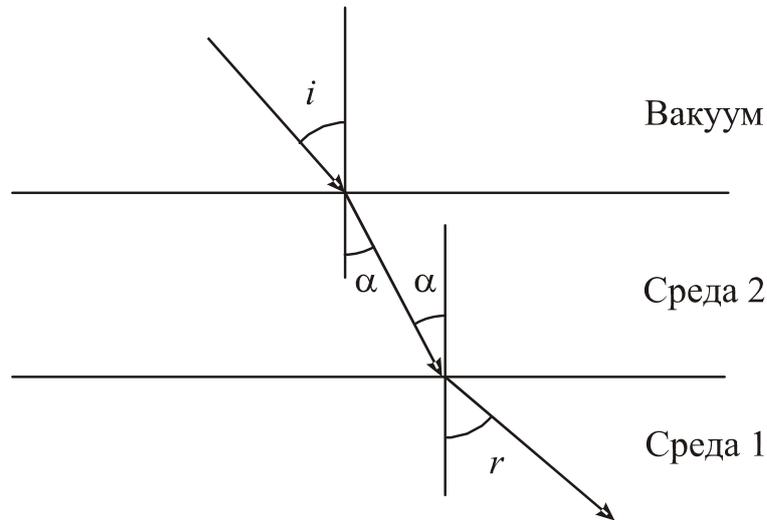


Рис. 2. Преломление света.

Рассмотрим случай, когда среда 2 становится исчезающе тонкой, т.е. случай непосредственного преломления из вакуума в среду 1. Тогда $\frac{\sin i}{\sin r} = n_1$.

Сопоставляя эти формулы, найдём $N_{12} = \frac{n_1}{n_2}$. Повторяя эти рассуждения для

случая, когда тонкий слой среды 1 отделяет среду 2 от вакуума, найдём

$N_{21} = \frac{n_2}{n_1}$, или $N_{21} = \frac{1}{N_{12}}$, т.е. показатель преломления первой среды

относительно второй N_{12} равен обратному значению показателя преломления второй среды относительно первой N_{21} . Отсюда непосредственно следует, при преломлении на границе двух сред ход лучей является обратимым, т.е. при изменении направления лучей на обратное их взаимное расположение не меняется. В законе отражения этот принцип обратимости светового пути также действителен. Он сохраняет силу при каком угодно числе преломлений и отражений, поскольку соблюдается для каждого из них. Таким образом, принцип обратимости справедлив для всех задач, связанных с построением изображений.

Показатель преломления зависит от длины волны. Для определённости будем рассматривать преломление на границе вакуум-вещество, т.е. говорить о зависимости абсолютного значения показателя преломления n от длины волны λ :

$$n = f(\lambda).$$

Дисперсией вещества называется величина, показывающая, как зависит показатель преломления от длины волны. Если двум значениям λ_1 и λ_2 соответствуют величины показателя преломления n_1 и n_2 , то средняя дисперсия вещества будет равна

$$\bar{\nu} = \frac{n_2 - n_1}{\lambda_2 - \lambda_1} = \frac{\Delta n}{\Delta \lambda}.$$

Значение дисперсии вещества вблизи данной λ получим, перейдя к бесконечно малому интервалу длин волн

$$\nu = \frac{dn}{d\lambda} = \frac{d}{d\lambda} f(\lambda)$$

Для всех прозрачных веществ показатель преломления монотонно возрастает с уменьшением длины волны.

Пусть ABC – главное сечение призмы из прозрачного вещества (рис. 3).

Световой луч попадает на АВ и выходит после преломления в призме на грани АС. Ребро АВ призмы называется преломляющим, а угол САВ – преломляющим углом призмы. Если i – угол падения луча на грань АВ, r – угол преломления в призме, n – показатель преломления второй среды относительно первой, то по закону преломления света:

$$n = \frac{\sin i}{\sin r} \quad (1)$$

При выходе из призмы соответственно i' – угол падения, r' – угол преломления.

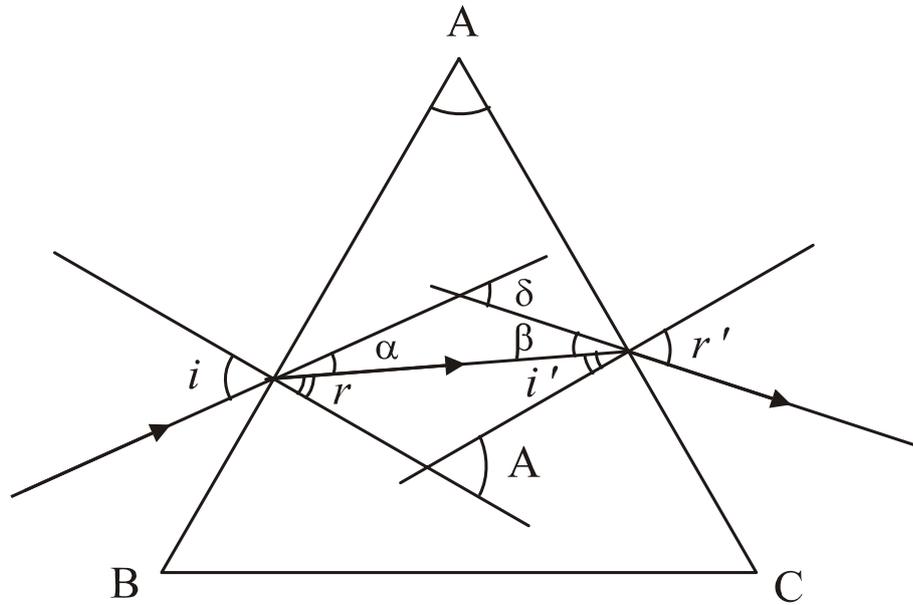


Рис. 3. Ход лучей в призме

Обозначим через δ угол, на который падающие на призму лучи отклоняются от своего первоначального значения. Из рис. 3 следует, что $\delta = \alpha + \beta$, но $\alpha = i - r$ и $\beta = r' - i'$. Отсюда $\delta = i - r + r' - i'$, но $r + i' = A$, следовательно, $\delta = i + r' - A$. Отсюда следует, что угол отклонения меняется с изменением i и для данной призмы существует такое значение **угла i'** , при котором угол отклонения δ получает наименьшее значение. Этот угол получил название угла наименьшего отклонения.

Чтобы луч имел наименьшее отклонение, угол падения i и угол выхода r' должны быть равны между собой $i = r'$, при этом также и $r = i'$. В этом случае

$r = \frac{A}{2}$, $\delta = 2i - A$ или $i = \frac{A + \delta}{2}$. Подставляя значение i и r в (1) имеем

$$n = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin \frac{A + \delta}{2}}{\sin \frac{A}{2}} \quad (2)$$

Угловой дисперсией призмы называется величина D , равная производной угла отклонения по длине волны $D = \frac{d\delta}{d\lambda}$. Угол отклонения δ непосредственно

зависит (при данном угле падения) от n , а n зависит от λ , поэтому можно написать $D = \frac{d\delta}{dn} \cdot \frac{dn}{d\lambda}$. Дифференцируя выражение (2) по δ и проделав ряд преобразований, получим следующую формулу для дисперсии призмы вблизи минимума отклонения:

$$D = \frac{d\delta}{d\lambda} = \frac{2 \sin \frac{A}{2}}{\sqrt{1 - n^2 \sin^2 \frac{A}{2}}} \cdot \frac{dn}{d\lambda}, \quad (3)$$

где $D = \frac{dn}{d\lambda}$ – дисперсия материала призмы.

Разрешающую способность призмы оценивают по формуле

$$R = b \frac{dn}{d\lambda}, \quad (4)$$

где b — основание призмы, вдоль которого идёт свет.

Если световой пучок не занимает всей призмы, то её разрешающая способность вычисляется по формуле $R = (b_2 - b_1) \frac{dn}{d\lambda}$. При этом ширину пучка можно определить, поставив на его пути лист белой бумаги.

В настоящей работе излагается метод определения показателя преломления изотропного твёрдого прозрачного вещества по измеренному преломляющему углу призмы из данного вещества и по углу наименьшего отклонения параллельного пучка монохроматического света, прошедшего через призму. Дается понятие об определении дисперсии стеклянной призмы и определении её разрешающей способности, если известна ширина светового пучка, падающего на призму.

Описание установки и методика измерений

Гониометр-спектрометр (рис.4) служит для измерения двугранных углов оптическим методом с точностью до 1". Он состоит из следующих основных частей: основания 1, коллиматора 2, корпуса 3, оптической трубы 4 с отчётным

микроскопом 5, столика 6 и скрытого под кожухом лимба. На конце коллиматора имеется щель, величину которой можно регулировать микрометрическим винтом 7. Коллиматор служит для создания параллельного пучка света. Для этого щель должна быть установлена в фокальной плоскости системы линз коллиматора с помощью бокового винта. Корпус 3 может вращаться вместе с оптической трубой 4 относительно основания.

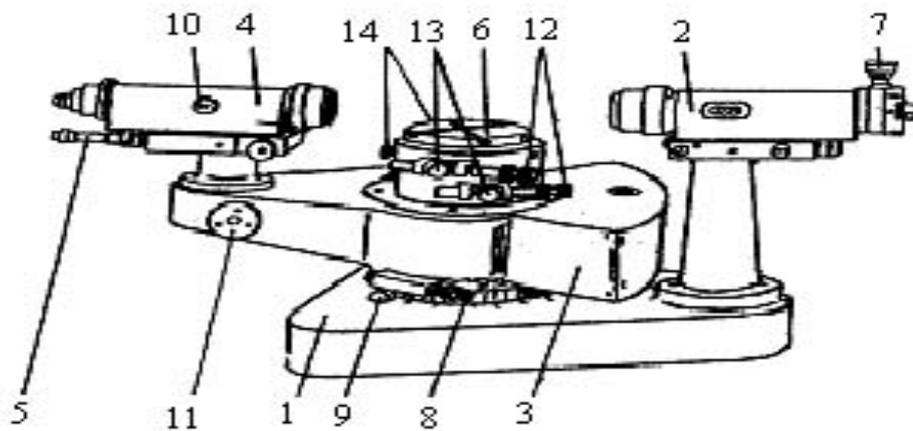


Рис. 4. Внешний вид гониометра

Грубое перемещение корпуса осуществляется от руки при сжатом винте 9, а точнее — микрометрическим винтом 8 при зажатом винте 9. Фокусировка оптической трубы производится винтом 10 сбоку трубы. Стекланный лимб с делениями установлен на вертикальной оси прибора в её нижней части. Отчёт по лимбу ведётся через перископическую систему с помощью отчётного микроскопа 5.

В поле зрения микроскопа одновременно видны штрихи лимба и шкала микрометра, цена деления которой 1" (рис. 5). В левом окне наблюдается изображение диаметрально противоположных участков лимба и вертикальный индекс, в правом — деления шкалы оптического микрометра и горизонтальный индекс. Чтобы снять отчёт по лимбу, необходимо повернуть маховик 11 оптического микрометра настолько, чтобы верхний и нижний штрихи лимба в

левом окне точно совместились. Число градусов равно ближайшей левой от вертикального индекса цифре. Число десятков минут равно числу интервалов, заключённых между верхним штрихом, который соответствует отсчитанному числу градусов, и нижним оцифрованным штрихом, отличающимся от верхнего на 180° . Число единиц минут отчитывается по шкале микрометра в правом окне по левому ряду чисел. Число единиц секунд равно числу делений между штрихами, соответствующими отчёту десятков секунд, и неподвижным горизонтальным индексом.

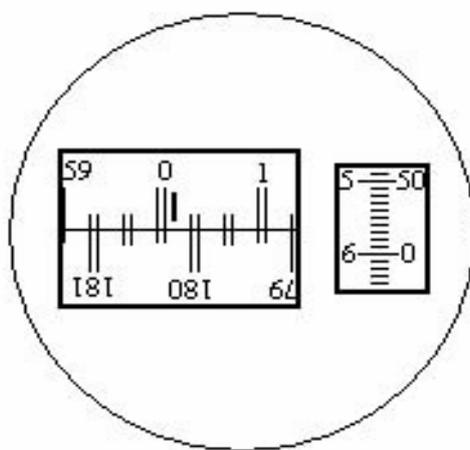


Рис. 5 Шкала отсчета

Положение, показанное на рис. 5, соответствует отсчёту $0^\circ 15' 57''$. Для правильной установки измеряемого предмета предусмотрен наклон столика в двух взаимно перпендикулярных направлениях, осуществляемый винтами 14 (рис. 4). Вращение лимба вместе со столиком производится грубо от руки при отжатом винте 13 и точно микрометрическим винтом 12 при сжатом винте 13. Лимб гониометра и сетки окуляров освещаются лампой, для чего прибор включается непосредственно в сеть переменного тока тумблером через розетку, расположенным на одной из боковых сторон основания 1.

Щель гониометра освещается ртутной лампой. Ртутная лампа питается от сети переменного тока через специальное пусковое устройство. Для зажигания лампы необходимо нажать кнопку на передней панели пускателя.

Для определения показателя преломления по формуле (2) необходимо измерить преломляющий угол призмы A и угол наименьшего отклонения.

При определении преломляющего угла призмы необходимо осветить щель коллиматора ртутной лампой. Между коллиматором и трубой создать угол 30° – 60° и закрепить трубу винтом 9. На столик гониометра поместить призму так, чтобы одна из граней преломляющего угла была обращена к оптической трубе (рис.6).

Наблюдая в трубу и поворачивая столик, совместить изображение щели коллиматора, полученное от первой грани призмы, с нитью перекрестия сетки трубы. Видимая ширина щели должна быть в 2-3 раза больше толщины штриха сетки. Закрепив столик в этом положении, снять отчёт A_1 . Повернуть столик до совмещения щели, полученного от второй грани преломляющего угла призмы, с нитью перекрестия трубы, снять отчёт A_2 .

Преломляющий угол призмы будет равен разности

$$A = 180^\circ - (A_1 - A_2). \quad (5)$$

Если же переходя от A_1 к A_2 , мы перешли через нуль лимба, тогда

$$A = 180^\circ - (A_1 + (360^\circ - A_2)) = (A_2 - A_1) - 180^\circ \quad (5.a)$$

Измерения наименьшего угла отклонения производятся следующим образом. Зажигают ртутную лампу перед щелью коллиматора и поворачивают столик так, чтобы биссектриса преломляющего угла призмы образовала с осью коллиматора острый угол, близкий к прямому (рис.7).

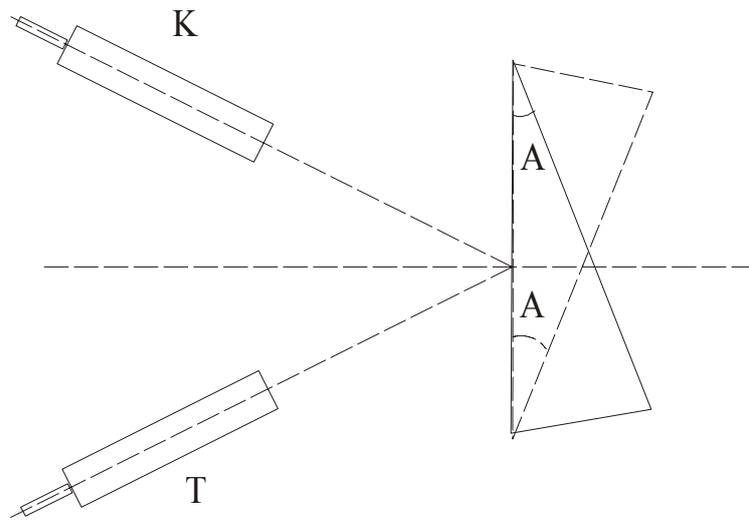


Рис. 6. Определение преломляющего угла призмы

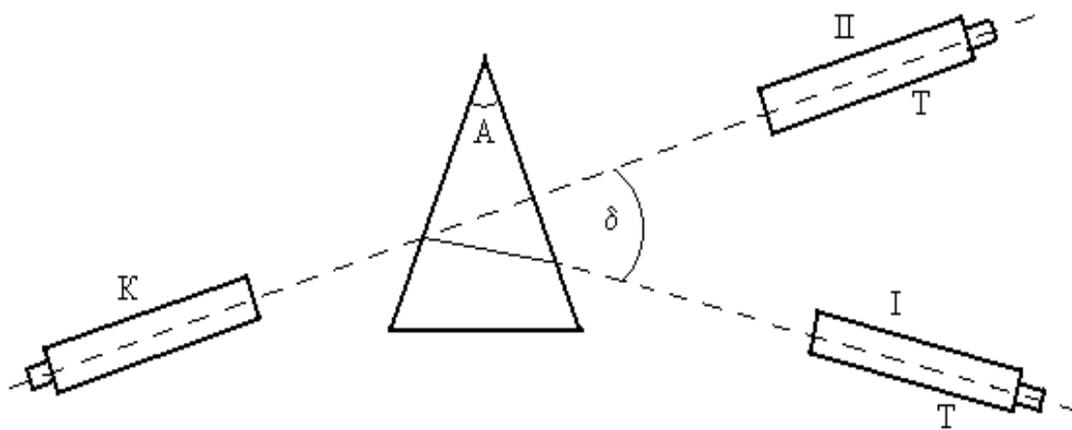


Рис. 7. Определение наименьшего угла отклонения

Пусть при этом основание призмы лежит влево от наблюдателя. Визуально находят изображение щели коллиматора, например, для зелёной линии ртути и, медленно поворачивая столик с призмой против часовой стрелки, вымеряют такое положение призмы, при котором изображение щели останавливается и затем начинает возвращаться назад (меняет направление своего движения). В этом положении призма установлена на угол, близкий к углу наименьшего отклонения. Затем, наблюдая за изображением коллиматора через зрительную трубу, находят более точное положение щели, при котором оно меняет направление своего движения. При этом необходимо пользоваться микрометрическим винтом 12. Совместив изображение щели коллиматора с нитью перекрестия трубки, снять отчёт A_1 . Далее снимают призму, совмещают визирную нить зрительной трубы с изображением щели коллиматора и снимают отчёт A_2 (направление не отклонённого луча (рис. 7)). По формуле $\delta = A_1 - A_2$ находят угол наименьшего отклонения от своего первоначального значения для данной длины волны. Найденные значения преломляющего угла призмы A и угла наименьшего отклонения позволяют вычислить показатель преломления для данной длины волны по формуле (2). Аналогичным образом находят показатели преломления для других длин волн и тем самым определяют дисперсию материала призмы.

Порядок выполнения работы

1. Провести соответствующие измерения для вычисления преломляющего угла призмы по формуле (5) или (5.a). Каждое измерение провести 5-10 раз. Оценить погрешность определения преломляющего угла призмы.

2. Найти угол наименьшего отклонения для жёлтой линии (5770 Å), зелёной (5461 Å), голубой (4916 Å), синей (4358 Å), и фиолетовой (4047 Å) спектра ртути. Положение линий в спектре показано на рис.8.

Для каждой линии произвести 5-10 измерений. Оценить определения угла наименьшего отклонения. По вышеизложенной методике вычислить

соответствующий показатель преломления по формуле (2). Оценить погрешность вычисления показателя преломления.

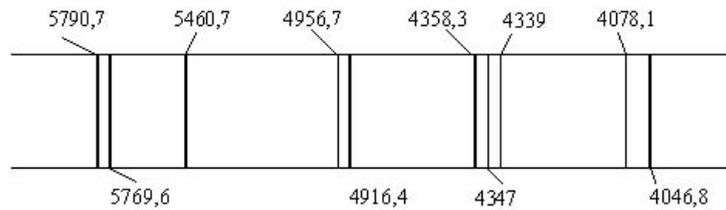


Рис. 8. Положение линий в спектре

3. Построить график, откладывая по оси абсцисс длину волны, а по оси ординат величину $(n-1)$ для всех вычисленных значений показателя преломления.

4. Вычислить угловую дисперсию вблизи минимума отклонения по формуле (3) для какой-либо длины волны, определяя дисперсию вещества призмы из графика.

5. Оценить разрешающую способность призмы по формуле (4).

Литература

1. С.Э. Фриш, А.В. Тиморева. Курс общей физики // СПб.: Издательство "Лань", 2006, т.3, §§ 251, 252, 281.
2. Д.В. Сивухин. Общий курс физики // М.: Физматлит, Издательство МФТИ, 2002, т.4, §§ 2, 16, 49.