

Лабораторная работа №1

ИЗУЧЕНИЕ ДИСПЕРСИИ СВЕТА С ПОМОЩЬЮ СПЕКТРОГОНИОМЕТРА

Цель работы:

- 1) изучение явления дисперсии света и эффекта спектрального разложения параллельного пучка света стеклянной призмой;
- 2) измерение угла наименьшего отклонения лучей призмой для различных длин световых волн и определение по результатам этих измерений показателя преломления, дисперсии вещества, угловой дисперсии света, разрешающей силы призмы.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Принцип действия спектрогониометра

Спектрогониометр состоит (рис.1) из горизонтально расположенного коллиматора K , столика T , который может вращаться вокруг вертикальной оси, перпендикулярной оси коллиматора, и зрительной трубы F , которая может поворачиваться вместе со столиком или независимо.

Угол поворота зрительной трубы относительно столика можно измерять с точностью до одной угловой минуты с помощью лимба N , скрепленного со столиком, и двух нониусов, скрепленных со зрительной трубой.

Коллиматор K предназначен для создания пучка лучей, параллельных плоскости, проходящей через ось столика T . Коллиматор состоит из объектива и щели S , закрепленной на патрубке. Патрубок вставлен в корпус коллиматора и может перемещаться. Щель коллиматора помещают в фокальную плоскость объектива, поэтому свет от каждой точки щели выходит из коллиматора параллельным пучком по направлению прямой, соединяющей эту точку с центром линзы объектива (рис. 2). Щель расположена вертикально и имеет рабочую ширину порядка десятых и сотых долей миллиметра. Поэтому в горизонтальном сечении пучок света, вышедшего из коллиматора, выглядит почти параллельным.

Столик предназначен для установки на нем оптических элементов, отклоняющих лучи от первоначального направления: стеклянных призм, отражающих пластинок, зеркал, дифракционных решеток и других. Эти элементы устанавливаются таким образом, чтобы лучи претерпевали поворот на некоторый угол в плоскости

столика вокруг его оси. В горизонтальном сечении это выглядит как отклонение параллельного пучка от первоначального направления (рис. 2).

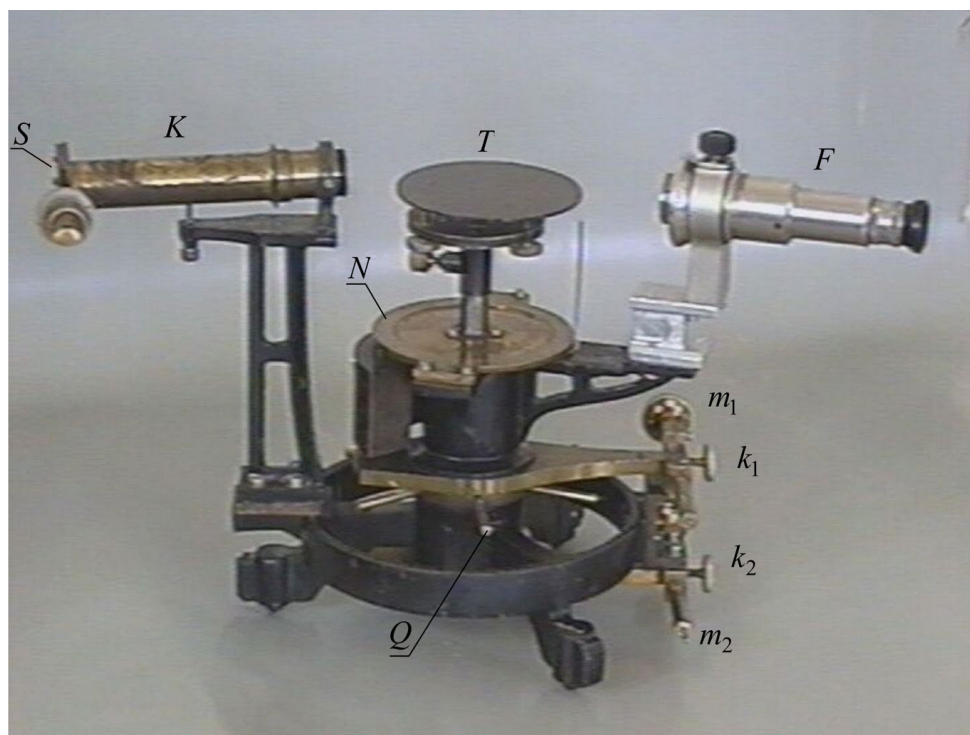


Рис. 1. Внешний вид спектрогониометра: *S*- входная щель; *K*- коллиматор; *N*- столик для призмы; *F*- зрительная труба; *N*- лимб; *Q*- рычажки поворота столика; *m*₁ и *m*₂ – микрометрические винты поворота трубы и столика; *k*₁ и *k*₂ – зажимные винты

Зрительная труба спектрогониометра предназначена для регистрации угла, на который отклоняется пучок.

Попадая в зрительную трубу, параллельные пучки лучей собираются в фокальной плоскости объектива зрительной трубы, образуя изображения S' точек щели. Получившееся изображение щели рассматривают через окуляр зрительной трубы.

Нетрудно видеть, что при изменении наклона зрительной трубы к падающему пучку, изображение S' перемещается от одного места фокальной плоскости к другому. В спектрогониометре предусмотрена фиксация направления оси зрительной трубы к падающему пучку. Для этого нужно поворотом трубы добиться совмещения изображения щели с перекрестием нитей, натянутых в поле зрения окуляра.

Если теперь на пути между коллиматором и зрительной трубой лучи претерпят отклонение (после преломления, в результате дифракции и т. д.), то для того чтобы снова поймать изображение щели на перекрестие нитей окуляра, нужно повернуть трубу на тот же угол, на который отклонились лучи. Таким образом, отмечая углы, на которые нужно поворачивать трубу, чтобы удерживать изображение щели на перекрестии нитей, мы тем самым измеряем углы, на которые отклоняется пучок света.

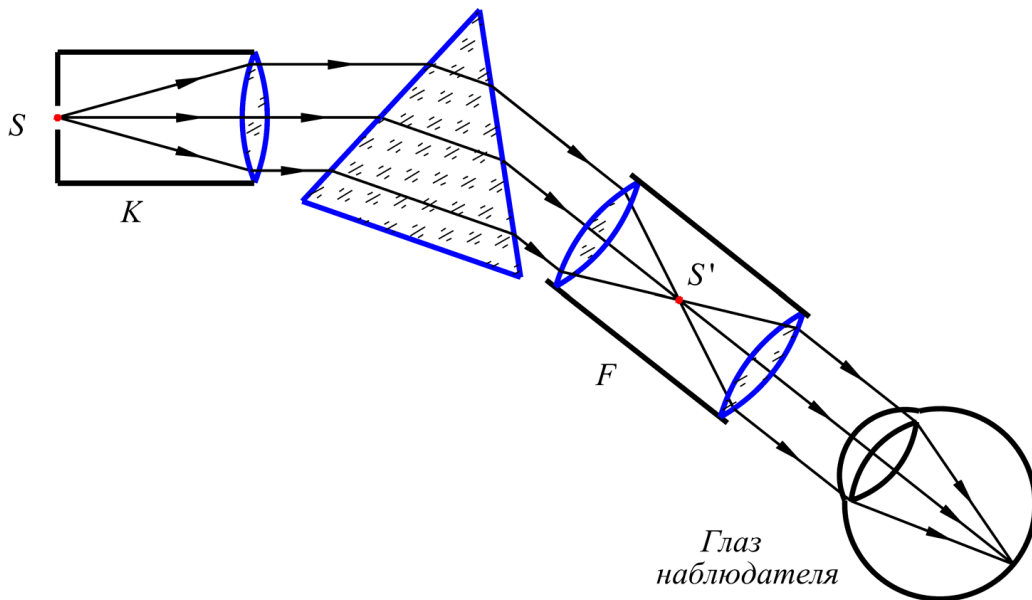


Рис. 2. Оптическая схема спектрогониометра

Преломление света в призме

Рассмотрим равнобековую трёхгранную призму с преломляющим углом α (рис.3).

Пусть i - угол падения луча на призму; i' - угол преломления на 1-й грани; r' - угол падения на 2-ю грань; r - угол преломления на 2-й грани; n - показатель преломления стекла призмы относительно окружающей среды. Тогда угол отклонения луча призмой

$$\theta = (i - i') + (r - r') . \quad (1)$$

Так как $r' = \alpha - i'$ и по закону преломления

$$\sin i = n \sin i' , \quad \sin r = n \sin r' , \quad (2)$$

то

$$\theta = \arcsin(n \sin i') + \arcsin(n \sin(\alpha - i')) - \alpha . \quad (3)$$

Из выражений (1), (3) видно, что при симметричном ходе лучей в призме (то есть при $i' \equiv i_0' = \frac{\alpha}{2} = r'$) угол отклонения $\theta = \theta_0$ определяется только преломляющим углом и показателем преломления призмы:

$$\theta_0 = 2 \arcsin\left(n \sin \frac{\alpha}{2}\right) - \alpha . \quad (4)$$

Угол отклонения θ_0 , соответствующий симметричному ходу лучей в призме, обладает тем замечательным свойством, что является наименьшим из всех возможных углов отклонения. Это нетрудно проверить, исследуя на минимум выражение (3).

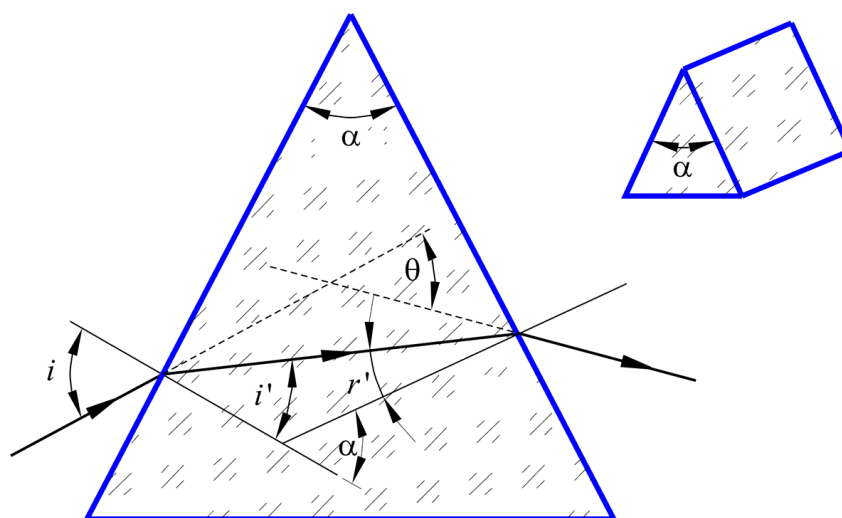


Рис. 3. Ход лучей в призме

Как следует из выражения (4), измерив угол наименьшего отклонения θ_0 , можно просто определить показатель преломления вещества призмы по формуле

$$n = \frac{\sin \left[\frac{(\alpha + \theta_0)}{2} \right]}{\sin \frac{\alpha}{2}}. \quad (5)$$

Дисперсия света. Спектральное разложение светового пучка призмой

Напомним, что показатель преломления определяется диэлектрической проницаемостью среды, которая зависит от частоты колебаний электрического поля. Поэтому угол преломления зависит от частоты (или, что эквивалентно, от длины волны). Если пучок света представляет собой совокупность волн с различной длиной волны λ , то есть имеет сложный спектральный состав, то различие в углах преломления для этих волн приведет к их пространственному разделению. Пространственное разделение светового пучка на составляющие по длинам волн является одним из основных способов разложения света в спектр.

Разложение света в спектр, происходящее при преломлении, дифракции или интерференции, называется дисперсией света. В более узком смысле, в процессах преломления, *дисперсией света* называется зависимость показателя преломления от частоты (или от длины волны). Насколько сильна эта зависимость, можно судить по величине $\frac{dn}{d\lambda}$. Эта величина имеет смысл скорости изменения показателя преломления данного вещества при изменении длины волны и называется *дисперсией вещества*, или дисперсией материала, или дисперсией показателя преломления.

Вследствие дисперсии света $n = n(\lambda)$ угол отклонения луча призмой, как говорилось выше, зависит от длины волны: $\theta = \theta(\lambda)$ в выражении (3). В результате луч с длинами волн $\lambda, \lambda + \Delta\lambda$ после прохождения через призму пространственно разделяется на два луча с длинами волн λ и $\lambda + \Delta\lambda$, как показано на рис. 4а.

Насколько сильна зависимость угла отклонения луча от длины волны, можно

судить по величине $\frac{d\theta}{d\lambda}$. Эта величина имеет смысл скорости изменения угла отклонения луча при изменении длины волны и называется *угловой дисперсией* призмы.

Для лучей, падающих на призму под одним и тем же углом i , имеем из формул (3) и (2)

$$\theta(\lambda) = i - \alpha + \arcsin \left[n(\lambda) \sin(\alpha - i'(\lambda)) \right] = i - \alpha + \arcsin \left[\sin \alpha \sqrt{n^2(\lambda) - \sin^2 i} - \cos \alpha \sin i \right],$$

откуда угловая дисперсия призмы получается равной:

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{\sin \alpha}{\cos i' \sqrt{1 - n^2 \sin^2(\alpha - i')}} \frac{dn}{d\lambda}. \quad (6)$$

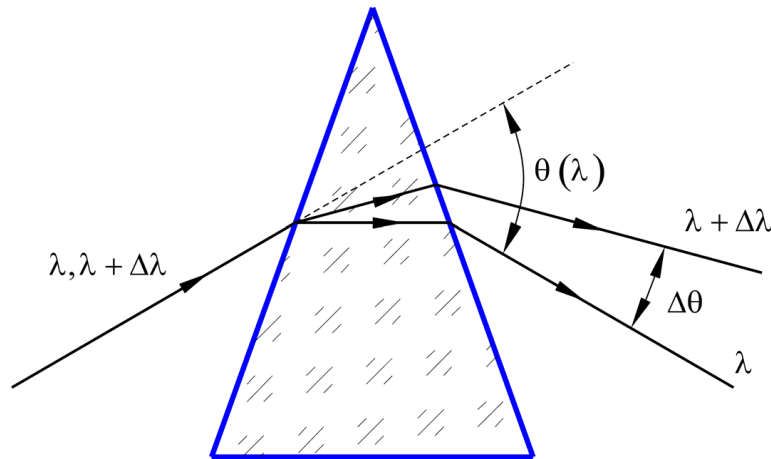


Рис. 4а. Дисперсия света при преломлении в призме

Видно, что угловая дисперсия призмы зависит от ее преломляющего угла, угла падения лучей на неё и тем больше, чем больше дисперсия материала призмы.

В случае такого угла падения $i = i_0$, когда ход лучей симметричен $\left(i' = r' = \frac{\alpha}{2} \right)$, получим

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{\sin \alpha}{\cos \frac{\alpha}{2} \sqrt{1 - n^2 \sin^2 \left(\frac{\alpha}{2} \right)}} \frac{dn}{d\lambda} = \frac{2 \sin \left(\frac{\alpha}{2} \right)}{\cos i_0} \frac{dn}{d\lambda} = \frac{2 \sin \left(\frac{\alpha}{2} \right)}{\cos \left[\frac{(\theta_0 + \alpha)}{2} \right]} \frac{dn}{d\lambda}. \quad (7)$$

Этой формуле можно придать более удобный вид, в котором исключены угловые переменные. Если пучок, падающий на призму, имеет в преломляющей плоскости ширину b , а разность геометрических путей крайних лучей пучка внутри призмы равна $l_2 - l_1$, то при симметричном ходе лучей, как видно из рис. 4б,

$$\frac{l_2 - l_1}{2 \sin \left(\frac{\alpha}{2} \right)} = \frac{b}{\cos i_0}.$$

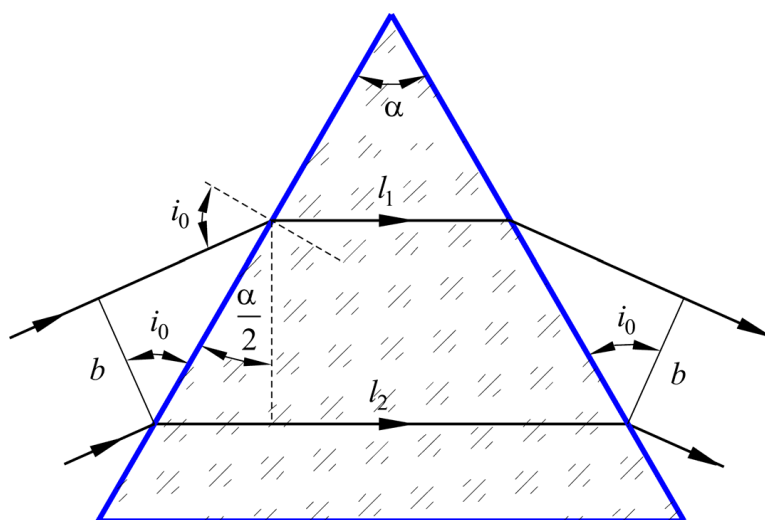


Рис. 4б. Симметричный ход лучей в призме

Следовательно,

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{l_2 - l_1}{b} \frac{dn}{d\lambda}. \quad (8)$$

Таким образом, если призму поместить между коллиматором и зрительной трубой спектрогониометра, то согласно формуле (3) лучи, падающие на призму из коллиматора под определенным углом i отклоняются в призме на различные углы $\theta(\lambda)$, в зависимости от длины волны. В результате в фокальной плоскости объектива зрительной трубы возникнут сдвинутые относительно друг друга изображения щели. Каждое из них будет создано лучами одной длины волны и представляет собой наблюдаемую спектральную линию для одной длины волны - аппаратную функцию.

Разрешающая сила призмы

Наблюдаемая спектральная линия имеет конечную ширину. Если входная щель S не слишком узка, ширина наблюдаемой линии, очевидно, совпадает с шириной изображения S' щели. Пусть для длины волны λ_1 ширина наблюдаемой линии равна δx_1 . Если источник излучает, кроме того, на длине волны λ_2 , для которой наблюдаемая линия имеет ширину δx_2 , то при достаточно близких значениях λ_1 и λ_2 может оказаться, что наблюдаемая линия δx_2 отодвинута относительно линии δx_1 на величину, меньшую, чем $\frac{(\delta x_1 + \delta x_2)}{2}$. В этом случае обе линии перекроются и будут неразличимыми.

Таким образом, существует предел разрешения $\Delta\lambda_n$ - такое минимальное расстояние между длинами волн в спектре, при котором эти две волны можно еще различить с помощью данного спектрального прибора. Возможность различать близкие длины волн характеризуется величиной, называемой разрешающей силой. Разрешающая сила спектрального прибора определяется формулой

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda_n}, \quad (9)$$

где $\Delta\lambda_n$ - минимальная разность длин волн, которые еще можно различить прибором;

λ - средняя длина этих волн. Заметим, что в радиочастотной области спектра аналогичной формулой определяется добротность колебательного контура.

Принципиальным фактом является то, что реальные приборы не могут иметь бесконечно большой разрешающей силы ($\Delta\lambda_n \neq 0$). В случае спектрогониометра это означает, что даже при бесконечно узкой щели наблюдаемая линия имеет конечную ширину. Это объясняется тем, что в действительности законы геометрической оптики ограничены и нельзя получить идеального изображения точки или линии из-за дифракции света. Из-за дифракции изображение точки размывается в пятно, а изображение линии - в полосу.

Дифракция светового пучка, вышедшего из коллиматора, происходит так же, как дифракция волны с плоским волновым фронтом, падающим на отверстие, форма которого совпадает с поперечным сечением пучка. Поперечное сечение пучка света (опертуда пучка) в спектральном приборе ограничивается или опертудой (диаметром оправы) объектива коллиматора K , или опертудой объектива зрительной трубы F , или преломляющими гранями самой призмы. Для упрощения можно считать, что ограничивающая пучок опертуда имеет прямоугольную форму шириной b в преломляющем сечении призмы (рис. 4б). Интенсивность в дифракционной картине при этом равна (см. описание лабораторной работы "Измерение длины волны с помощью дифракционной решетки"¹)

$$I(\varphi) = I_0 \frac{\sin^2\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \varphi\right)}{\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \varphi\right)^2}, \quad (10)$$

где φ - угол дифракции лучей от направления падающего пучка; b - ширина пучка; λ - длина волны; I_0 - интенсивность в направлении $\varphi = 0$.

Если лучи с длиной волны отклоняются призмой на угол θ_1 , то из-за дифракции возникнут лучи с другими направлениями θ , интенсивность вдоль которых, согласно формуле (10), имеет вид

$$I_1(\theta, \lambda_1) = I_0 \frac{\sin^2\left(\frac{\pi b \sin(\theta - \theta_1)}{\lambda_1}\right)}{\left(\frac{\pi b \sin(\theta - \theta_1)}{\lambda_1}\right)^2}. \quad (11)$$

График этой функции показан на рис. 5 (сплошная линия). Имеется главный максимум, равный I_0 , в точке θ_1 , нулевые значения в точках $\theta_1^{(m)} = \theta_1 + \arcsin\left(\frac{m\lambda_1}{b}\right)$, $m = \pm 1, \pm 2, \dots$, между которыми расположены побочные максимумы. В видимой области $\frac{\lambda_1}{b} \approx 5 \cdot 10^{-7} \text{ м} / 10^{-2} \text{ м} = 5 \cdot 10^{-5} \ll 1$, следовательно $\theta_1^{(m)} \approx \theta_1 + \frac{m\lambda_1}{b}$.

Побочные максимумы не превышают $0.05I_0$, поэтому в действительности дифракционная картина $I_1(\theta)$ выглядит как один главный пик с угловой полушириной порядка $\delta\theta_1 = \theta_1^{(1)} - \theta_1 = \frac{\lambda_1}{b}$. Это означает, что большая часть энергии волны с длиной

¹ Руководство к лабораторным работам по курсу общей физики. Оптика. Вып. 4. Лаб. раб. №3. Интерференция и дифракция света. Лабораторная работа № 3.

λ_1 распространяется по направлениям $\theta_1 - \frac{\lambda_1}{b} \leq \theta \leq \theta_1 + \frac{\lambda_1}{b}$.

Пусть источник излучает с равными интенсивностями на длинах волн λ_1 и λ_2 . Так как волны с длиной λ_2 , с учетом дифракции, распространяются по направлениям, в основном сосредоточенным от $\theta_2 - \frac{\lambda_2}{b}$ до $\theta_2 + \frac{\lambda_2}{b}$, то для разделения направлений распространения волн с длинами λ_1 и λ_2 необходимо, чтобы $|\theta_2 - \theta_1| > \frac{(\lambda_1 + \lambda_2)}{b} \equiv \frac{2\lambda}{b}$. В этом случае наблюдаемые линии не будут накладываться друг на друга в фокальной плоскости объектива зрительной трубы и будут полностью различимыми.

На рис. 5 показан случай, когда центр θ_2 линии λ_2 сдвинут относительно центра θ_1 линии λ_1 на величину $\Delta\theta = |\theta_2 - \theta_1| = \frac{\lambda}{b}$. При этом главный максимум одной линии попадает на первый минимум другой. Релей предложил условно считать такой случай как раз тем критическим случаем, при котором линии еще различимы.

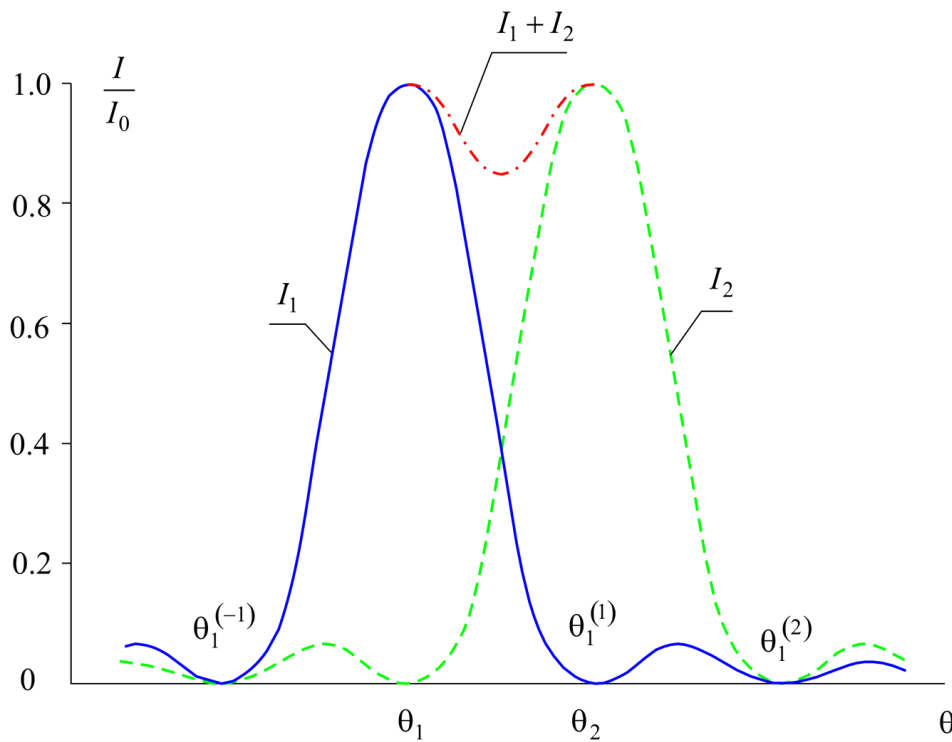


Рис. 5. Распределение интенсивности света для двух спектральных линий с длинами волн λ_1 и λ_2 на пределе разрешения по Релею

Таким образом, две спектральные линии различимы по Релею, если их центры отстоят друг от друга на угловом расстоянии не менее чем $\Delta\theta = \frac{\lambda}{b}$, где λ - средняя длина волны. Выразая $\Delta\theta$ через угловую дисперсию с помощью тождества

$$\Delta\theta = \frac{d\theta}{d\lambda} \Delta\lambda,$$

получим, полагая по Релею $\Delta\theta = \frac{\lambda}{b}$, следующую формулу для разрешающей силы:

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = b \frac{d\theta}{d\lambda}. \quad (12)$$

Разрешающая сила призмы пропорциональна угловой дисперсии $\frac{d\theta}{d\lambda}$ и тем выше, чем полнее заполняется призма световым пучком (чем больше b).

В случае симметричного хода лучей через призму, согласно (8), получим

$$R = (l_2 - l_1) \frac{dn}{d\lambda}. \quad (13)$$

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Установка спектрогониометра

Спектрогониометр требует тщательной установки (юстировки), которая состоит в отдельности из установки зрительной трубы на бесконечность, установки оси трубы перпендикулярно оси вращения прибора и установки коллиматора. При этих установках следует помнить, что труба может свободно вращаться только при отпущенном зажимном винте k_1 (см. рис. 1). В случае, когда труба закреплена этим винтом, ее можно вращать в небольших пределах микрометрическим винтом m_1 . Точно так же лимб столика закрепляется зажимным винтом k_2 и при этом может вращаться в небольших пределах микрометрическим винтом λ_1 . Когда винт k_2 отпущен, столик можно вращать за рычажки Q .

Установка трубы на бесконечность. Для установки на бесконечность зрительная труба снабжена автоколлимационным окуляром (рис. 6). Вблизи фокальной плоскости собственно окуляра O помещены натянутые в особой рамке H четыре нити (1,2,3,4), относительное расположение которых показано на рис. 7.

Между окулярными линзами O и рамкой с нитями H расположена небольшая призма полного внутреннего отражения P , освещаемая через боковое окошечко a .

Эта призма при настройке трубы заслоняет собой часть поля зрения, как показано на рис. 7, и в случае надобности может быть убрана с помощью соответствующего рычажка.

Пучок света, отражаясь в призме, направляется вдоль трубы, освещая по пути крест нитей 1-2. Вначале устанавливают "на глаз" столик и трубу в горизонтальное положение. Затем освещают через боковое отверстие крест нитей и фокусируют окулярные линзы O на нити рамки H . На столик помещают стойку с плоскопараллельной пластинкой и, изменяя положение столика или трубы, стараются поймать отражение от передней грани пластинки пучка лучей, освещающих крест нитей. Это отражение, появляющееся в виде расплывчатого светового пятна, фокусируют, передвигая весь окулярный патрубок и не сбивая фокусировки окулярных линз на крест нитей так, чтобы ясно видеть отражение прямого креста нитей. При этом добиваются, чтобы смещение глаза в сторону не влияло на положение отражения относительно самих нитей. В этом случае трубу можно считать установленной на бесконечность. Действительно, плоскости креста нитей и его изображения могут совпадать только тогда, когда обе эти плоскости совпадают с фокальной плоскостью

объектива трубы.

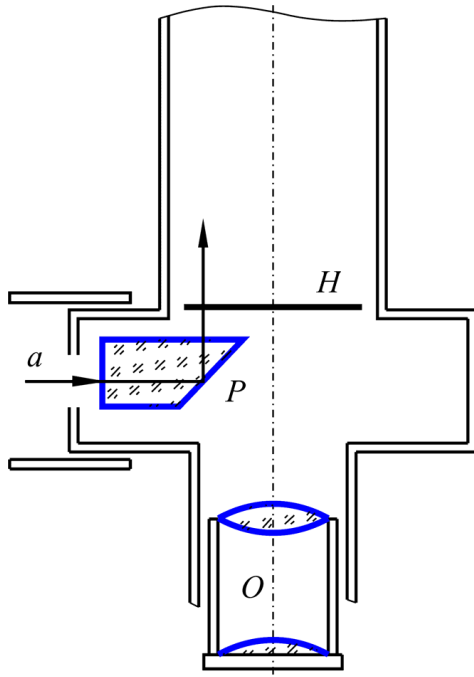


Рис. 6. Устройство автоколлимационного окуляра зрительной трубы

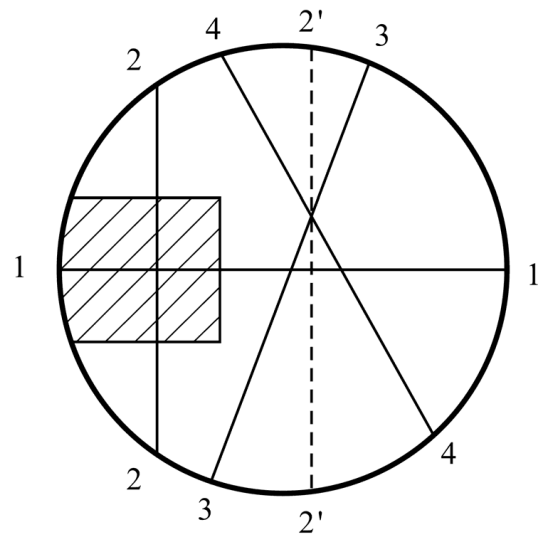


Рис. 7. Вид поля зрения в автоколлимационном окуляре

Установка оси трубы перпендикулярно к оси вращения прибора. Вращая столик с пластинкой и наклоняя его или трубу, приводят в совпадение отражение 2' вертикальной нити 2 с перекрестием наклонных нитей 3 и 4, а отражение горизонтальной нити 1 - с ней самой (рис.7). Затем поворачивают столик с пластинкой на 180° до совпадения с перекрестием наклонных нитей отражения вертикальной нити от второй грани плоской пластинки. При этом совпадения отражения горизонтальной нити с ней самой, вообще говоря, не будет. Добиваются этого совпадения, наклоняя трубу и столик. При этом установочным винтом трубы действуют настолько, чтобы изображение горизонтальной нити в поле зрения приблизилось к самой нити только на половину своего первоначального расстояния, а полного совпадения с нитью добиваются наклоном столика. После этого снова поворачивают столик на 180° и, если кресты немного расходятся, совмещают их точно таким же образом. Труба установлена перпендикулярно оси вращения столика, если отражения горизонтальной нити от обеих поверхностей плоскопараллельной пластинки совпадают с самой нитью.

Установка коллиматора. Щель коллиматора должна находиться в фокальной плоскости своего объектива, а ось коллиматора должна быть расположена перпендикулярно оси вращения прибора. Чтобы установить щель коллиматора в фокальную плоскость объектива, ее освещают лампой и направляют на коллиматор предварительно настроенную на бесконечность зрительную трубу так, чтобы изображение S' щели получилось на кресте нитей. Двигая патрубок со щелью, достигают того, чтобы ее изображение было отчетливым и чтобы при смещении глаза в сторону оно не сходило с креста нитей. Для установки оси коллиматора перпендикулярно к оси вращения прибора необходимо наклоном коллиматора вывести середину изображения щели на уровень горизонтальной нити окуляра. При этом рекомендуется натянуть поперек щели посередине ее тонкую проволоку, чтобы по ее

изображению точно отыскивать середину изображения щели.

Установка призмы. Призма должна быть установлена на столике спектрогониометра так, чтобы ее ребро при преломляющем угле было расположено перпендикулярно оси оптической трубы. Сначала призму ставят на столик таким образом, чтобы одна из ее преломляющих граней была перпендикулярна к линии, соединяющей два из трех установочных винтов столика. Повернув призму этой гранью (вращением столика) к зрительной трубе, крест нитей которой освещен, действуют упомянутыми двумя винтами и приводят горизонтальную нить в совпадение со своим изображением, тем самым, устанавливая первую грань призмы перпендикулярно оси трубы. Затем поворачивают призму второй преломляющей гранью к трубе и, действуя третьим винтом, устанавливают ее перпендикулярно к оси трубы. При этом первая грань должна вращаться в своей же плоскости, так как ось вращения столика при действии третьим винтом проходит через первые два винта и перпендикулярна к первой грани. Наконец, снова поворачивают призму первой гранью к трубе и, если нить немного не совпадает со своим изображением, добиваются совпадения, а затем проверяют вторую грань.

Измерения

Измерение преломляющего угла призмы 1-м способом. Поворачивают столик с установленной согласно предыдущему параграфу призмой до тех пор, пока изображение освещенного креста вертикальной нити не совпадет с точкой пересечения нитей крестового креста (рис. 7). В этом положении производят отсчет по нониусам на лимбе столика. Повернув призму другой преломляющей гранью к трубе, точно так же производят второй отсчет. Пусть отсчеты для первого и второго положений призмы по одному и тому же нониусу будут a° и b° . Если деления на лимбе идут, убывая от a к b , то измеряемый угол призмы

$$\alpha = 180^\circ - (a^\circ - b^\circ). \quad (14)$$

Это видно из рис. 8а, на котором для наглядности движение столика T относительно трубы F заменено движением трубы относительно столика. Если при переходе от a к b произошел переход через нуль делений лимба, то (см. рис. 8б)

$$\alpha = 180^\circ - [a^\circ = (360^\circ - b^\circ)] = b^\circ - a^\circ - 180^\circ. \quad (15)$$

Измерение преломляющего угла призмы 2-м способом. В этом способе освещение креста нитей окуляра выключают и освещают щель коллиматора. Поворачивают призму так, чтобы падающие из коллиматора на преломляющую грань призмы лучи отражались в зрительную трубу. Совмещая изображение щели с перекрестием нитей, производят отсчет по нониусам. Затем поворачивают призму второй преломляющей гранью на место первой и производят отсчет. Преломляющий угол призмы вычисляют по тем же формулам (14) и (15).

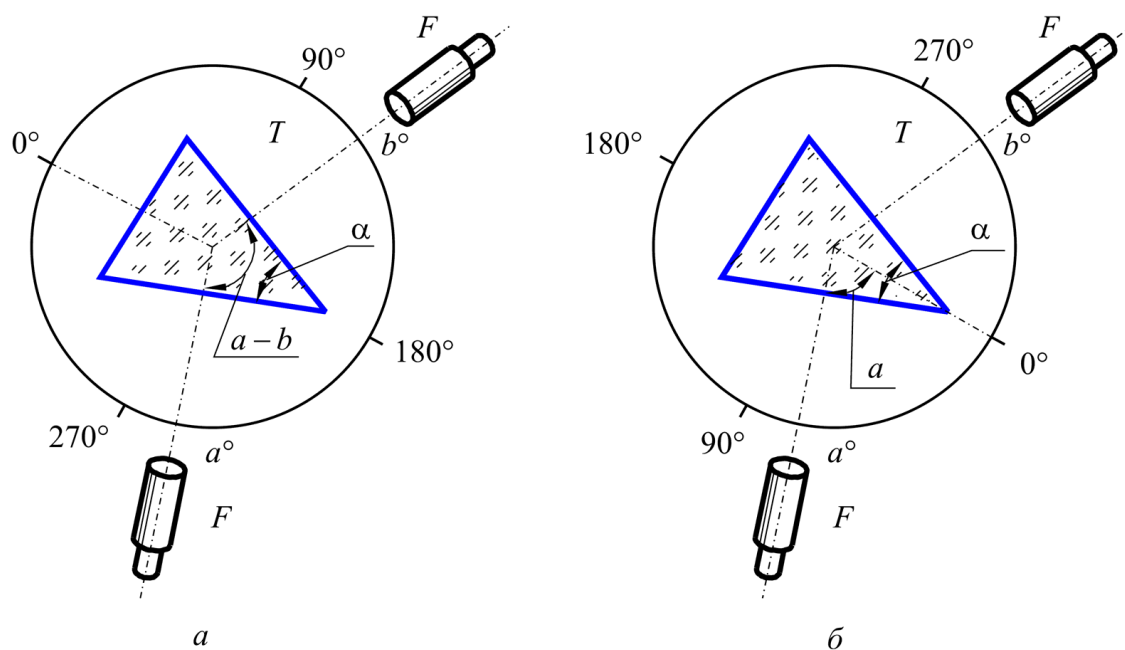


Рис. 8. Измерение преломляющего угла призмы

Измерение угла наименьшего отклонения. Помещают ртутную или водородную разрядную лампу перед щелью коллиматора и поворачивают столик так, чтобы лучи коллиматора падали на преломляющую грань со стороны основания призмы (рис. 4). Закрепляют столик и, учитывая то, что призма отклоняет лучи к своему основанию, вращением трубы находят одну из видимых линий спектра (табл.1).

Таблица 1

Длины волн линий спектра атомов ртути и водорода

Элемент	Окраска	λ , нм	Элемент	Окраска	λ , нм
Водород	красная	656	Ртуть	желтая 1	579
	синяя	486		желтая 2	589
	фиолетовая 1	434		зеленая	546
	фиолетовая 2	410		сине-зеленая	491
Ртуть	красная	623		фиолетовая 1	436
	оранжевая	612		фиолетовая 1	434
			фиолетовая 2	407	

Установив на спектральную линию крест нитей, освобождают зажим столика и вращают попеременно столик и зрительную трубу, стараясь удерживать линию в поле зрения. При этом зрительную трубу надо вращать так, чтобы угол между ней и коллиматором уменьшался, что соответствует уменьшению угла отклонения лучей призмой. В некотором положении столика его дальнейший поворот начнет приводить не к уменьшению, а к увеличению угла отклонения лучей призмой. Линия "остановится" и начнет возвращаться назад, в сторону обратного поворота зрительной трубы. Это положение как раз соответствует установке призмы на угол наименьшего

отклонения для выбранной длины волны в спектре источника. Закрепив столик, вращением трубы совмещают перекрестие нитей с наблюдаемой линией. После этого, закрепив трубу и освободив столик, пробуют вращать призму, чтобы убедиться, соответствует ли ее установка углу наименьшего отклонения. Если окажется, что при вращении призмы линия немного сошла с нитей в сторону уменьшения отклонения, то исправляют установку на наименьшее отклонение и, закрепив призму, вновь наводят крест нитей трубы на линию. Закрепив окончательно столик с призмой, производят отсчет по нониусам. Затем, оставляя столик неподвижным, снимают с него призму и поворачивают трубу так, чтобы изображение щели коллиматора попало на перекрестие нитей. Разность между отсчетом в этом положении трубы и отсчетом при установке на угол наименьшего отклонения даст величину угла наименьшего отклонения.

В работе необходимо измерить углы наименьшего отклонения призмой для всех видимых длин волн используемого источника. Рекомендуется производить измерения для каждой линии с призмой, обращенной основанием как вправо, так и влево.

Обработка результатов измерений

Определение коэффициента преломления стекла призмы. Коэффициент преломления подсчитывается по формуле (5) для каждой из длин волн, на которых производились измерения.

Определение дисперсии. Построить кривую зависимости коэффициента преломления от длины волны $n(\lambda)$. По наклону этой кривой оценить дисперсию вещества $\frac{dn}{d\lambda}$ для длин волн, на которых производились измерения. Подсчитать угловую дисперсию по формуле (7) и построить по полученным данным график зависимости угловой дисперсии от длины волны $\frac{d\theta}{d\lambda} = f(\lambda)$.

Определение разрешающей силы призмы. Пользуясь найденными значениями дисперсии, подсчитать разрешающую силу призмы по формуле (13). При этом в качестве $l_2 - l_1$ следует взять ширину основания призмы, что соответствует полному заполнению призмы светом (см. рис. 4).

Оценка ошибок. Необходимо сначала оценить относительные среднеквадратичные ошибки $\sigma_\alpha / \bar{\alpha}$ в измерении преломляющего угла и $\sigma_\theta / \bar{\theta}$ в измерении угла наименьшего отклонения, пользуясь следующими формулами:

$$\sigma_\alpha = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(\alpha_i - \bar{\alpha})^2}{(N-1)}}, \quad \bar{\alpha} = \sum_{i=1}^N \frac{\alpha_i}{N},$$

$$\sigma_\theta = \sqrt{\sum_{i=1}^M \frac{(\theta_{0i} - \bar{\theta}_0)^2}{(M-1)}}, \quad \bar{\theta}_0 = \sum_{i=1}^M \frac{\theta_{0i}}{M}, \quad (16)$$

где N - число измеренных значений α_i преломляющего угла ($i = 1, 2, \dots, N$); M - число измеренных значений θ_{0i} угла наименьшего отклонения ($i = 1, 2, 3, \dots, M$).

Подсчитать среднеквадратичную относительную ошибку в определении коэффициента преломления по формуле

$$\frac{\sigma_n}{n} = \frac{1}{n} \sqrt{\left(\frac{\partial n}{\partial \alpha}\right)^2 \sigma_\alpha^2 + \left(\frac{\partial n}{\partial \theta_0}\right)^2 \sigma_\theta^2},$$

которая, с учетом (5), имеет вид

$$\frac{\sigma_n}{n} = \frac{1}{2 \sin \frac{\alpha + \theta_0}{2}} \sqrt{\left(\frac{\sin \frac{\theta_0}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}}\right)^2 \sigma_\alpha^2 + \left(\cos \frac{\alpha + \theta_0}{2}\right)^2 \sigma_\theta^2}. \quad (17)$$

Контрольные вопросы и задания

1. Построить ход лучей в спектрогониометре.
2. Объяснить автоколлимационный способ установки зрительной трубы на бесконечность.
3. Объяснить методику измерения угла наименьшего отклонения.
4. Пояснить смысл угловой дисперсии призмы. Чем определяется расстояние между спектральными линиями?
5. Что такое разрешающая сила спектрального прибора? Чем определяется разрешающая сила приборов с призмой?

Литература

1. Ландсберг Г.С. Оптика. М.: Наука, 1976. § 94, 39, 50.
2. Физический практикум (Под ред. проф. В.И. Ивероной). М.: ГИФМЛ, 1962. Задача 125.
3. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Оптика. М.: Наука, 1980. § 49