



ИЗУЧЕНИЕ ПРИЗМЫ С ПОМОЩЬЮ ГОНИОМЕТРА

Лабораторная работа № 5.4

МОСКВА 2005

Цель работы: Знакомство с работой гониометра, исследование дисперсии стеклянной призмы и определение характеристик призмы как спектрального прибора.

В работе используются: гониометр, ртутная лампа, призма, стеклянная плоскопараллельная пластинка, призмный уголкового отражатель.

Гониометр служит для точного измерения углов и находит широкое применение в оптических лабораториях. С помощью гониометра можно определять показатели преломления и преломляющие углы призм и кристаллов, исследовать параметры дифракционных решёток, измерять длины волн спектральных линий и т. д. В настоящей работе прибор применяется для исследования дисперсии стеклянных призм — зависимости показателя преломления от длины волны.

Показатель преломления материала призмы удобно определять по углу наименьшего отклонения. Известно, что минимальное отклонение луча, преломленного призмой, от направления луча, падающего на призму, получается при симметричном ходе луча (в призме луч идёт перпендикулярно биссектрисе преломляющего угла). Угол минимального отклонения δ , преломляющий угол α (угол при вершине призмы на рис. 1а) и показатель преломления n связаны между собой соотношением

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

Вывести это соотношение студентам предлагается самостоятельно.

Измерив с помощью гониометра преломляющий угол призмы и углы наименьшего отклонения для света разных длин волн, можно рассчитать величину n и построить дисперсионную кривую — график зависимости $n(\lambda)$.

По дисперсионной кривой могут быть определены такие важные характеристики оптических стёкол, как средняя дисперсия

$$D = n_F - n_C \quad (2)$$

и коэффициент дисперсии ν (число Аббе):

$$\nu = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}. \quad (3)$$

Здесь n_D , n_F и n_C — показатели преломления для $\lambda_D = 589,3$ нм (среднее значение длин волн жёлтого дублета натрия), $\lambda_F = 486,1$ нм (голубая линия водорода), $\lambda_C = 656,3$ нм (красная линия водорода).

По наклону дисперсионной кривой можно оценить разрешающую способность призмы

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

Здесь $\delta\lambda$ — минимальный интервал длин волн, разрешаемый по критерию Релея, b — размер основания призмы, если вся рабочая грань призмы освещена параллельным пучком.

Гониометр. Оптическая схема гониометра представлена на рис. 1а. Свет от источника S проходит через коллиматор (устройство, дающее параллельный пучок, состоящее из щели 1 и объектива 5) и преобразуется призмой или решёткой в набор параллельных пучков, каждый из которых соответствует определённой длине волны. Параллельные пучки собираются в фокальной плоскости объектива 9 зрительной трубы и рассматриваются глазом через окуляр 14. При освещении щели ртутной лампой, дающей дискретный спектр, в фокальной плоскости видны отдельные линии — цветные изображения входной щели (см. рис. 4 и таблицу 1).

Внешний вид гониометра представлен на рис. 1б и 1в. Коллиматор 3, столик 7 и алидада 17 со зрительной трубой 12 крепятся на массивном основании 23. На столике 7 размещаются исследуемые объекты. Коллиматор закреплён неподвижно, а столик и алидада с трубой могут вращаться вокруг вертикальной оси.

Ширину коллиматорной щели можно менять от 0 до 2-х мм при помощи микрометрического винта 2, высоту — от 0 до 2-х см — при помощи диафрагмы с треугольным вырезом («ласточкин хвост»), надетой на щель. Винт 4 служит для перемещения объектива 5 — настройки коллиматора на параллельный пучок.

Зрительная труба 12 состоит из объектива 9 и окуляра 14 с автоколлимационным устройством 13. Объективы коллиматора и зрительной трубы одинаковы. Фокусировка трубы производится винтом 11. Наклон коллиматора и зрительной трубы к горизонтальной оси изменяется винтами 6 и 10 соответственно.

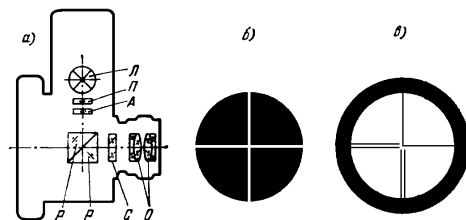


Рис. 2. Автоколлимационное устройство

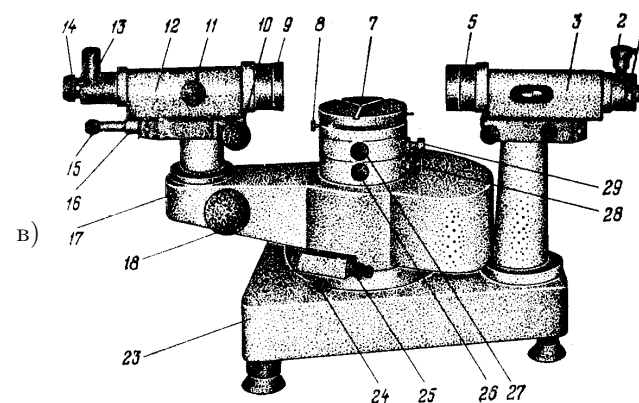
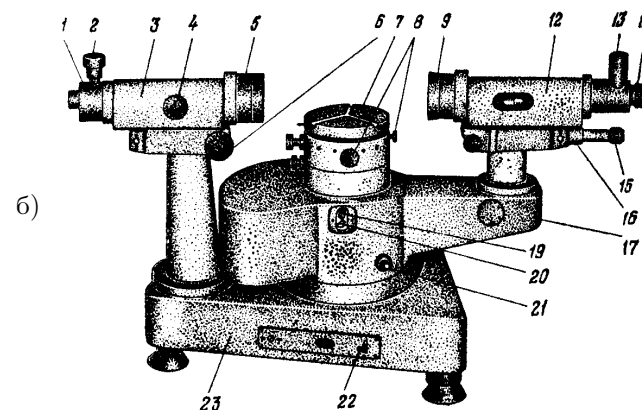
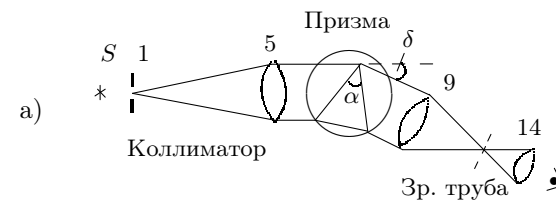


Рис. 1. Оптическая схема и внешний вид гониометра

Схема окуляра зрительной трубы с автоколлимационным устройством приведена на рис. 2а. Свет от лампы L проходит через защитную стеклянную пластинку Π и попадает на автоколлимационную сетку A ,

содержащую две взаимно перпендикулярные щели (рис. 2б). Свет, прошедший через сетку А, попадает на две прямоугольные призмы Р и отражается от гипотенузной грани, на которую нанесен полупрозрачный слой с коэффициентом отражения 50%. Для юстировки гониометра на столик ставится предмет с плоской отражающей поверхностью. После отражения от неё параллельный пучок лучей возвращается назад в зрительную трубу и собирается в фокальной плоскости объектива. В этом случае светящийся крест можно увидеть через окуляр зрительной трубы. Кроме того, в окуляре имеется ещё одна сетка С, на которой изображён чёрный отсчётный крест (рис. 2в). Совмещённые изображения обоих крестов рассматриваются через окулярные линзы О. Резкость видимого изображения отсчётного креста регулируется вращением оправы окуляра 14.

Обе сетки окуляра, А и С (рис.2а), расположены на строго одинаковых расстояниях от гипотенузных граней призмы Р, поэтому их одновременное наблюдение в окуляре возможно только при совпадении фокальных плоскостей объектива и окуляра (труба настроена на бесконечность).

Важнейшим узлом гониометра является устройство, служащее для отсчёта угла поворота зрительной трубы вокруг вертикальной оси, проходящей через центр столика. На этой оси крепится прозрачное кольцо (лимб), расположенное в корпусе прибора. На поверхности лимба нанесена шкала с делениями. Лимб разделён на $3 \times 360 = 1080$ делений. Цена деления $20'$, оцифровка делений произведена через 1° . Шкалу лимба можно наблюдать через окуляр отсчётного устройства 16 при включённой подсветке (тумблер 22). Резкость изображения шкалы регулируется вращением оправы окуляра 15.

Оптическая система отсчётного устройства собрана так, что через окуляр можно наблюдать изображения штрихов двух диаметрально противоположных участков лимба, причём одно изображение прямое, а другое обратное (рис. 3). Кроме того, оптическая система позволяет перемещать эти изображения друг относительно друга, оставляя в покое как лимб, так и алидаду со зрительной трубой.

Это перемещение штрихов измеряется при помощи оптического микрометра. Шкала микрометра рассчитана таким образом, что при перемещении её на 600 делений верхнее изображение штрихов лимба смещается относительно нижнего на $10'$. Следовательно, цена деления шкалы микрометра $1''$.

Поле зрения отсчётного микроскопа приведено на рис. 3. В левом окне наблюдаются изображения диаметрально противоположных участ-

ков лимба и вертикальный штрих для отсчёта градусов, в правом — деления шкалы оптического микрометра и горизонтальная риска А для отсчёта минут и секунд.

Для удобства экспериментатора в гониометре предусмотрено несколько вариантов относительного вращения столика, алидады со зрительной трубой и лимба.

1. Алидада вращается относительно лимба и столика либо грубо от руки при свободном винте 24 (см. рис. 1), либо точно с помощью микрометрического винта 25 при зажатом винте 24.

2. Такое же вращение алидады, но вместе с лимбом и столиком, производится, если рычажок 20 находится в нижнем положении. Для возвращения его в верхнее положение надо нажать рычажок 19.

3. Лимб вращается относительно столика и алидады винтом 21 (рычажок 20 в нижнем положении, винт 26 свободен).

4. Вращение столика вместе с лимбом относительно алидады производится либо от руки при свободном винте 26, либо микрометрическим винтом 28 при зажатом винте 26.

5. Столик вращается относительно алидады и лимба либо от руки при свободном винте 27, либо точно микрометрическим винтом 29 при зажатом винте 27 (рычажок 20 в верхнем положении).

Гониометр требует тщательной юстировки, которая заключается в установке: а) зрительной трубы на бесконечность; б) поверхности столика и оптической оси трубы — перпендикулярно оси вращения прибора; в) коллиматора — на параллельный пучок лучей; г) оптической оси коллиматора — перпендикулярно оси вращения прибора. Подробно с правилами настройки гониометра Вы познакомитесь при выполнении задания.

ЗАДАНИЕ

В работе предлагается отъюстировать гониометр, определить преломляющий угол призмы, измерить углы наименьшего отклонения для нескольких спектральных линий ртути и оценить спектральные характеристики призмы.

1. Юстировка гониометра

Любой вращающийся элемент системы должен свободно поворачиваться рукой, если освобождён соответствующий закрепляющий винт.

ВРАЩЕНИЕ ОТ РУКИ С УСИЛИЕМ НЕДОПУСТИМО!

1. Приступая к юстировке, убедитесь, что рычажок 20 (см. рис. 1) в верхнем положении (рычажок 19 нажат).

- Освободите винт 26, чтобы свободно вращалась нижняя часть столика (вместе со шкалой), и винт 27, чтобы вращалась верхняя часть столика. Поворачивая столик рукой, установите его на глаз горизонтально при помощи двух винтов 8, ориентированных взаимно перпендикулярно (при этом удобно следить за величиной щели между крышкой столика и его боковой поверхностью).

Установка зрительной трубы на бесконечность

- Вращением оправы 14 настройте окуляр зрительной трубы на резкое видение чёрного отсчётного креста (крест можно подсветить рассеянным светом настольной лампы).
- Включите тумблер 22 — подсветка — и убедитесь, что глядя в трубу со стороны объектива, можно увидеть светящийся крест автоколлимационной сетки.

Прислоните к оправе объектива плоскопараллельную пластинку и, вращая винт 11 (перестраивая объектив), найдите в окуляре резкое изображение светящегося креста, отраженного от стеклянной поверхности.

Установка поверхности столика перпендикулярно оси вращения прибора

- Закрепите винт 26, чтобы свободно вращалась только верхняя часть столика, и поверните столик так, чтобы один из установочных винтов 8 был направлен вдоль оси трубы.

Поставьте на столик угловой отражатель (призму с углом при вершине 90°) так, чтобы один из винтов 8 был перпендикулярен гипотенузной грани призмы, а гипотенузная грань была перпендикулярна оси зрительной трубы. Входящий и выходящий лучи в такой призме всегда параллельны друг другу, поэтому настройка проще, чем с плоскопараллельной пластинкой.

Вращая установочный винт 8, перпендикулярный гипотенузной грани, и слегка поворачивая столик рукой вправо и влево, добейтесь того, чтобы в поле зрения окуляра попал светящийся крест, отражённый от призмы. Совместите центр отражённого креста с горизонтальным штрихом отсчётного креста (смещение по горизонтали здесь роли не играет). Если отражённых крестов несколько — работайте с самым ярким.

- Поднимите отражатель, поверните столик на 180° и поставьте отражатель на столик. Снова совместите центр автоколлимационного креста с горизонтальным штрихом отсчётного, но на этот раз пройдите половину расстояния винтом 8, ориентированным вдоль оси трубы, а вторую половину — винтом 10 наклона трубы. Верните столик в предыдущее положение и уточните настройку; допустимо смещение светящегося креста на треть радиуса поля зрения.

Теперь поверните столик под отражателем на 90° и тем же способом выставьте изображение креста на середину вторым винтом 8. На этом предварительная настройка столика и трубы закончена. Легко видеть, что расположение светящегося креста не изменяется, если ось зрительной трубы перпендикулярна оси вращения прибора.

При работе с решёткой или эшелетом (работа № 5.13) можно перейти к настройке коллиматора (п. 11).

- При работе с призмой (работа № 5.4) следует провести тонкую настройку столика и трубы при помощи плоскопараллельной пластинки.

Снова поверните столик так, чтобы один из винтов 8 был направлен вдоль оси зрительной трубы и поставьте на столик пластинку (на узкую полированную грань).

- Вращая установочный винт 8, перпендикулярный плоскости пластинки, и слегка поворачивая столик рукой, добейтесь того, чтобы в поле зрения окуляра попал отражённый светящийся крест.

Совместите светящийся автоколлимационный и чёрный отсчётный кресты по высоте, пройдя половину расстояния винтом 8, ориентированным вдоль оси трубы, а вторую половину — винтом 10 наклона трубы.

- При неподвижной трубе (винт 24 закреплён) вручную поверните столик на 180° , найдите отражение светящегося креста от второй поверхности пластины и снова совместите изображения тем же путём. Затем ещё раз поверните столик с пластиной на 180° и уточните положение светящегося креста. Расхождения менее чем на треть радиуса поля зрения считаются допустимыми.

- Теперь поверните столик на 90° и поставьте пластинку так, чтобы второй из винтов 8 стал параллельным оси трубы. Этим винтом совместите кресты и проверьте настройку при повороте столика на 180° .

Настройка коллиматора

- Включите блок питания ртутной лампы и нажмите кнопку «поджиг». Расширьте входную щель и поставьте ртутную лампу вплотную к щели. Расположите лист бумаги за объективом коллиматора и перемещением источника света перпендикулярно оси коллиматора добейтесь максимальной освещённости центральной части светового пятна на бумаге.
- Освободите алидаду (винт 24) и установите настроенную на бесконечность зрительную трубу напротив коллиматора. Тонкую настройку проведите винтом 25 при зажатом винте 24. Наблюдая за изображением щели в зрительную трубу, вращением винта 4 (перемещением объектива коллиматора) настройтесь на резкое изображение щели.
- Ограничьте до нескольких миллиметров видимую высоту щели, перемещая вдоль неё диафрагму «ласточкин хвост».

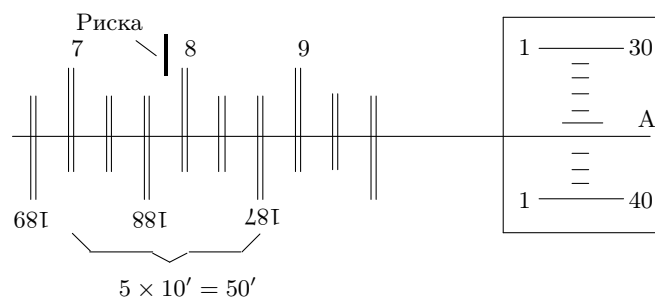


Рис. 3. Поле зрения отсчетного микроскопа ($7^{\circ}51'36''$)

14. Изменяя наклон коллиматора винтом 6, выведите резкое изображение щели на середину поля зрения окуляра.
15. Подберите рабочую ширину входной щели так, чтобы её видимая ширина составляла 1,5–2 расстояния между полосами двойного отсчётного штриха.

Отсчёт углов

16. Глядя в окуляр 15 и вращая оправу окуляра, настройтесь на резкое изображение лимба (круговой шкалы) и вертикальной шкалы, расположенной справа от лимба.

Вращением маховичка оптического микрометра 18 (*без усилий!*) совместите ближайший к отсчётной риске *левый* двойной оцифрованный штрих с ближайшим двойным штрихом нижней шкалы (если совместить штрихи без усилия не удаётся, вращайте маховичёк 18 в другую сторону и совмещайте соседний нижний штрих); снимите отсчёт угла в градусах (на рис. 3 — 7°).

Для определения десятков минут просчитайте число интервалов между двойными штрихами от выбранного верхнего до нижнего, число возле которого отличается на 180° от выбранного верхнего (на рис. 3 от 7 до 187 между двойными штрихами 5 интервалов, каждый по $10'$, т. е. $50'$).

Число минут — это левая цифра вертикальной шкалы над отсчётной горизонтальной риской А (на рис. 3 — $1'$). Число секунд — это отсчёт по правой части вертикальной шкалы (на рис. 3 положение горизонтальной риски А даёт $36''$).

Положение, показанное на рис. 3, соответствует отсчёту $7^{\circ}51'36''$. Отсчётное устройство гониометра обеспечивает точность измерения угла не хуже $5''$ (по паспорту ГС-5).

Установка начала отсчёта

17. Расположите трубу против коллиматора. Вращением микрометрического винта 25 (при закреплённом винте 24) совместите двойной отсчётный штрих с ахроматическим изображением входной щели.
18. Для удобства отсчёта можно выставить начальный угол $\simeq 180^{\circ}$. Для этого вращением маховичка 18 установите горизонтальную отсчётную риску А на отсчёт $1'00''$. Дополнительная минута рекомендуется потому, что при настройке точно на $0'0''$ (на край шкалы) часто выходит из строя маховичёк 18.

Поворачивая нижнюю часть столика сначала от руки при свободном винте 26, а затем микрометрическим винтом тонкой подачи 28 при зажатом винте 26 совместите верхний штрих — 180° и нижний — 0° . При такой настройке все углы, под которыми видны спектральные линии, будут отсчитываться от $0^{\circ}1'0''$ — угла падения луча (ось коллиматора под углом $\simeq 0^{\circ}$).

Если настройка на 180° затруднена, запишите такое начало отсчёта, которое Вы установили.

На этом настройка гониометра закончена. Чтобы не сбить начало отсчёта, *винт 26 не следует освобождать до конца измерений*. Поворачивать столик можно, освобождая только винт 27 (вращается верхняя часть столика без шкалы).

Полезно в процессе работы уточнять начало отсчёта.

II. Установка призмы

1. Поставьте рабочую призму так, чтобы её преломляющее ребро было вертикально, а одна из рабочих граней была перпендикулярна одному из установочных винтов 8.
2. Из-за неточного крепления призмы в оправе следует ещё раз подстроить наклон столика: вращая либо алидаду при свободном винте 24, либо столик при свободном винте 27 (винт 26 после установки начала отсчёта освобождать нельзя), найдите отражение светящегося креста от рабочей грани и приведите его к центру винтом 8, перпендикулярным отражающей грани. Трубу наклонять не следует.
3. Установите рабочую грань призмы перпендикулярно второму из винтов 8 и снова найдите отражённый крест. Если крест сместился, его снова следует привести к центру винтом, перпендикулярным отражающей грани. Поверните столик с призмой и проверьте отражение от второй грани и т. д. до тех пор, пока крест перестанет смещаться больше, чем на треть радиуса поля зрения.

III. Измерение преломляющего угла

- Для измерения преломляющего угла призмы установите трубу перпендикулярно одной из её отражающих граней и снимите отсчёт по лимбу (отсчитайте угол по круговой шкале). Затем, не трогая призму и столик, поверните алидаду с трубой вокруг преломляющего угла призмы и проведите ту же операцию для другой рабочей грани. По углу поворота трубы рассчитайте преломляющий угол призмы.

IV. Минимальный угол отклонения

- Для определения минимального угла отклонения δ поставьте призму на столике так, чтобы её основание было параллельно оси коллиматора (на глаз). Расположите лист бумаги за призмой и найдите на нём спектр, вращая столик рукой. Продолжая поворачивать столик и наблюдая за перемещением спектра, найдите положение столика с призмой, соответствующее минимальному отклонению преломлённого луча от направления падающего луча.



Рис. 4. Спектр ртутной лампы ДРШ — 250

Т а б л и ц а 1

Характеристики спектра ртутной лампы ДРШ-250

№	1	2	3	4	5	6
λ нм.	579,1	577,0	546,1	491,6	435,8	404,7
Цвет	желт.	желт.	зелен.	голуб.	синий	фиолет.
Яркость	10	8	10	4	4	3

Найдите спектр в зрительную трубу, настройтесь на одну из жёлтых линий (см. рис. 4 и табл. 1) и, вращая столик сначала рукой, а затем винтом тонкой подачи 29 при зажатом винте 27, установите его в такое положение, при котором отклонение выбранной спектральной линии от направления оси коллиматора оказывается наименьшим.

Для удобства отсчёта можно увеличить высоту входной щели. Если линия видна нечётко, подстройте резкость винтом 11 трубы. Вращая алидаду сначала от руки при освобождённом винте 24, а затем винтом тонкой подачи 25 при закреплённом винте 24, совместите двойной штрих измерительной сетки с выбранной линией и снимите отсчёт по лимбу.

- Для каждой линии спектра (рис. 4) найдите свой минимум отклонения (своеё положение столика с призмой) и определите координату линии.

V. Разрешающая способность

- Для оценки разрешающей способности призмы измерьте угловую ширину одной из жёлтых линий дублета, предварительно установив минимально возможную ширину входной щели. Если точное измерение ширины линии затруднено, то оцените на глаз, во сколько раз расстояние между линиями дублета больше ширины одной линии. Измерьте линейной длиной b основания призмы.

VI. Обработка результатов

- Рассчитайте минимальные углы отклонения $\delta(\lambda)$ и показатель преломления $n(\alpha, \delta)$ по формуле (1). Постройте дисперсионную кривую $n(\lambda)$.
- Определите по графику n_D , n_F и n_C и рассчитайте среднюю дисперсию стекла по формуле (2). При определении n_C с помощью спектра ртутной лампы дисперсионную кривую приходится несколько экстраполировать в область длинных волн. Рассчитайте число Аббе по формуле (3) и определите по таблицам сорт стекла.
- По наклону кривой $dn/d\lambda$ рассчитайте максимальную разрешающую способность призмы по формуле (4).

Рассчитайте экспериментальную величину R по измерениям жёлтого дублета и оцените реальный рабочий размер основания призмы.

Оцените, при каком размере решётки, имеющей 100 штр/мм, она обладает такой же разрешающей способностью в первом порядке, как призма с основанием $b = 5$ см.

- Рассчитайте угловую дисперсию $d\varphi/d\lambda$ по измерениям жёлтого дублета и сравните её с дисперсией решётки в первом порядке, имеющей 100 штр/мм.

Контрольные вопросы

- Выведите соотношение (1).
- Опишите устройство и работу автоколлимационного устройства.
- В чём состоит явление дисперсии?
- Как зависит показатель преломления от длины волны? Нарисуйте кривую дисперсии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ландсберг Г.С. Оптика. — М.: Наука, 1976. Гл. XIII, § 86; гл. XXVIII, § 156.
- Сивухин Д.В. Общий курс физики. — Т. IV. Оптика. — М.: Наука, 1980. Гл. IV, § 49; гл. VIII, § 84.