

Московский Физико-Технический Институт
(государственный университет)

Работа 4.4.3

Сибгатуллин Булат, ФРКТ

Цель работы:

знакомство с работой и настройкой гониометра Г5, определение зависимости показателя преломления стекла призмы от длины волны, определение марки стекла и спектральных характеристик призмы.

В работе используются:

гониометр, ртутная лампа, призма, стеклянная плоскопараллельная пластинка, призмный уголкового отражатель.

Экспериментальная установка

Все измерения в данной работе производятся с помощью гониометра, он служит для точного измерения углов.

Оптическая схема гониометра представлена на рис. 1а. Свет от источника S проходит через коллиматор и преобразуется призмой или решеткой в набор параллельных пучков, каждый из которых соответствует определенной длине волны. Параллельные пучки собираются в фокальной плоскости объектива 9 зрительной трубы и рассматриваются глазом через окуляр 14.

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 закреплен неподвижно, а столик и алидада с трубой могут вращаться вокруг вертикальной оси.

Ширину коллиматорной цели можно менять при помощи микрометрического винта 2, высоту - при помощи диафрагмы с треугольным вырезом, 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. Фокусировка трубы производится винтом 11. Наклон коллиматора и зрительной трубы к горизонтальной оси изменяется винтами 6 и 10 соответственно.

Схема окуляра O 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. Свет, прошедший через сетку A (светящийся крест - рис. 2б), попадает на две прямоугольные призмы P и отражается от гипотенузной грани, на которую нанесен полупрозрачный слой с коэффициентом отражения 50%.

Обе сетки окуляра, A и C (рис. 2а), расположены на строго одинаковых расстояниях от гипотенузных граней призмы P , 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 отсчета 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 разделен на $3 \times 360 = 1080$ делений. Цена деления $20'$, оцифровка деления произведена через 1° . Шкалу лимба можно на-

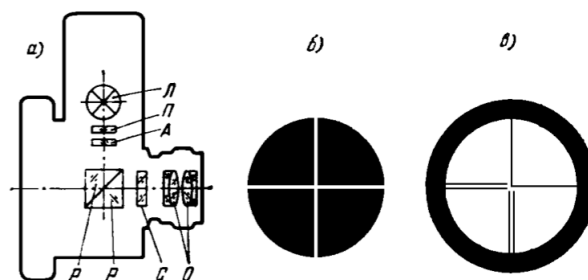


Рис. 2: Автоколлимационное устройство

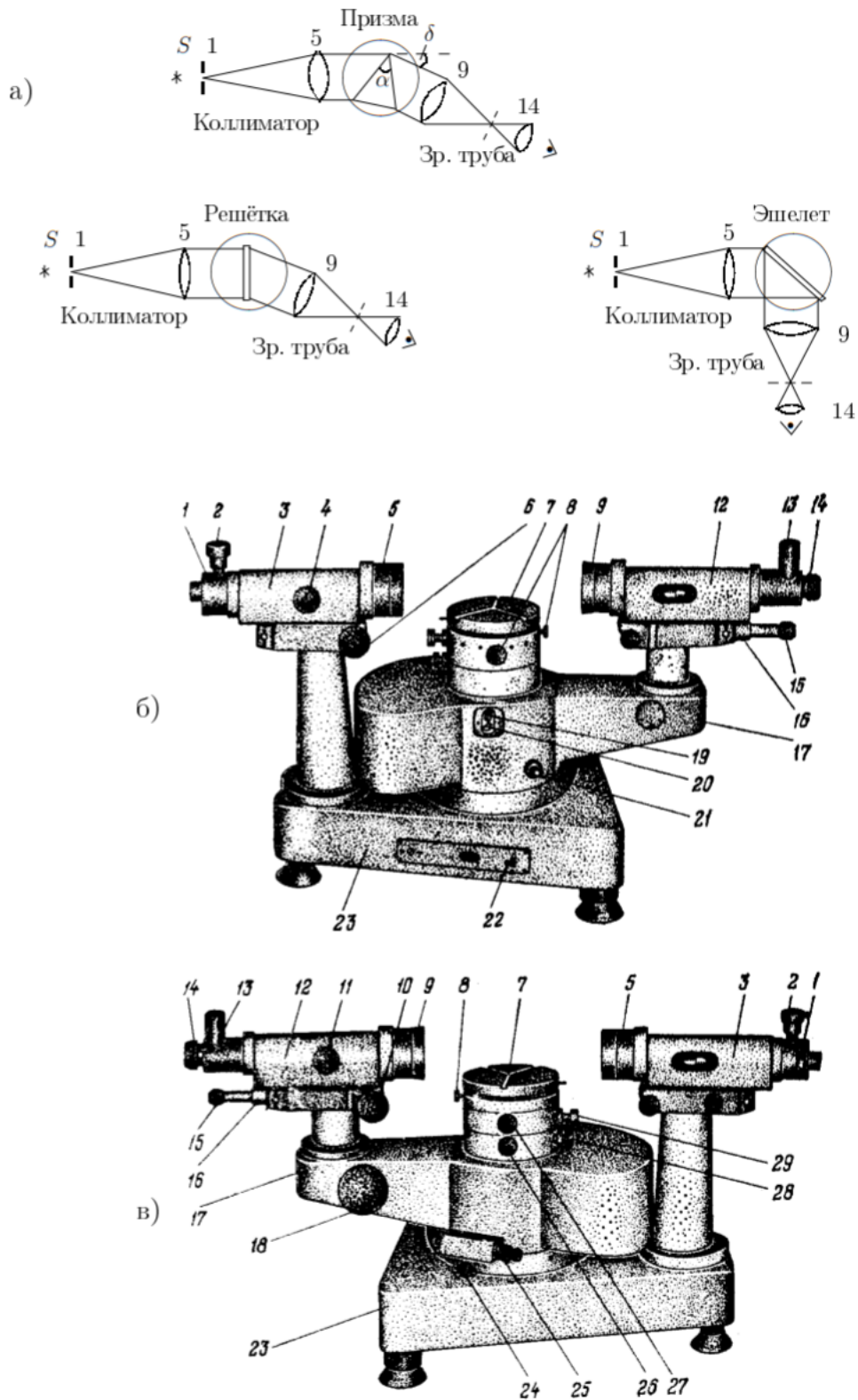


Рис. 1: Оптическая схема и внешний вид гониометра

блюдать 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 на-

блюдают 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 участков лимба и вертикальный штрих для отсчёта градусов, в правом - деления шкалы оптического микрометра и горизонтальная риска R для отсчёта минут и секунд.

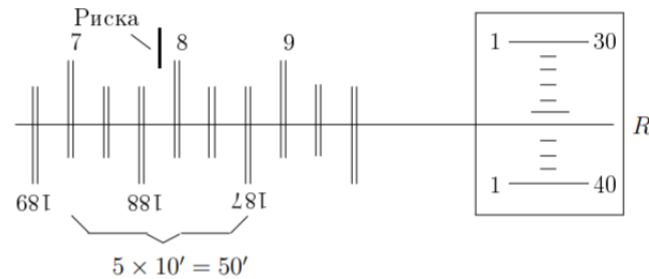


Рис. 3: Поле зрения отсчётного микроскопа ($7^{\circ}51'36''$)

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.

Теоретическая справка

Угол отклонения материала призмы $n(\lambda)$ удобно определять по углу наименьшего отклонения $\delta(\lambda)$ (рис. 4). Минимальное отклонение луча, преломлённого призмой, от направления луча, падающего на призму получается при симметричном ходе луча (в призме луч идёт параллельно основанию). Угол минимального отклонения δ , преломляющий угол α (угол при вершине призмы) и показатель преломления связаны соотношением

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

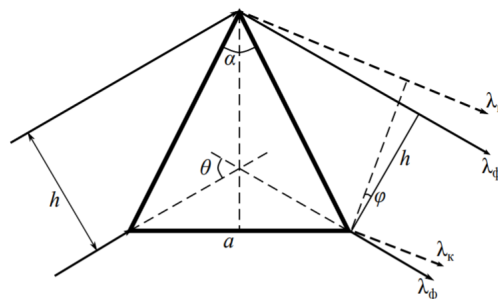


Рис. 4: Ход лучей в призме для наименьшего угла отклонения

Ход работы

1. Измерим преломляющий угол. Для этого установим трубу перпендикулярно одной из её отражающих граней и снимим отсчет по лимбу. Затем повернем алидаду с трубой вокруг преломляющего угла призмы и проведем ту же операцию для другой рабочей грани. По формуле (1) рассчитаем преломляющий угол призмы:

$$\alpha = 59^{\circ}12'16''$$

2. Рассчитаем минимальные углы отклонения $\delta(\lambda)$ и показатель преломления $n(\alpha, \delta)$ по формуле (1). Для этого вращая столик найдем в окуляре изображение спектра. Получившиеся данные запишем в таблицу:

	K1	K2	1	2	3	4	5	6
	красн	красн	желт	желт	зелен	голуб	синий	фиолет
градусы	51	51	52	52	52	53	54	55
минуты	12	38	1	2	22	6	18	18
секнды	38	52	23	42	30	45	29	40

Рис. 5: Зависимость угла расположения линий спектра от цвета линии.

По получившимся данным посчитаем зависимость $n(\lambda)$. Запишем данные в таблицу:

n	1,6627	1,6671	1,6708	1,6711	1,6743	1,6816	1,6933	1,7030
λ , нм	690,7	623,4	579,1	577,0	546,1	491,6	435,8	404,7

Рис. 6: Зависимость $n(\lambda)$

По данной таблице построим график зависимости (дисперсионную кривую) $n(\lambda)$:

При помощи данного графика можем посчитать значения для n_D, n_F и n_C . Их значения найдем зная длину волны их излучения и коэффициенты по которым мы линеаризуем график в их окрестности по формуле $y = ax + b$:

	λ , нм	b	a, нм ⁻¹	n
D	589,3	1,72	$-8,4 \cdot 10^5$	$1,673 \pm 0,001$
F	486,1	1,79	$-2 \cdot 10^4$	$1,693 \pm 0,001$
C	656,3	1,71	$-6,1 \cdot 10^5$	$1,671 \pm 0,001$

3. Рассчитаем среднюю дисперсию по формуле:

$$D = n_F - n_C = 0,021 \pm 2 \cdot 10^{-5}$$

И рассчитаем число Аббе по формуле:

$$\nu = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C} = 31,9 \pm 0,1$$

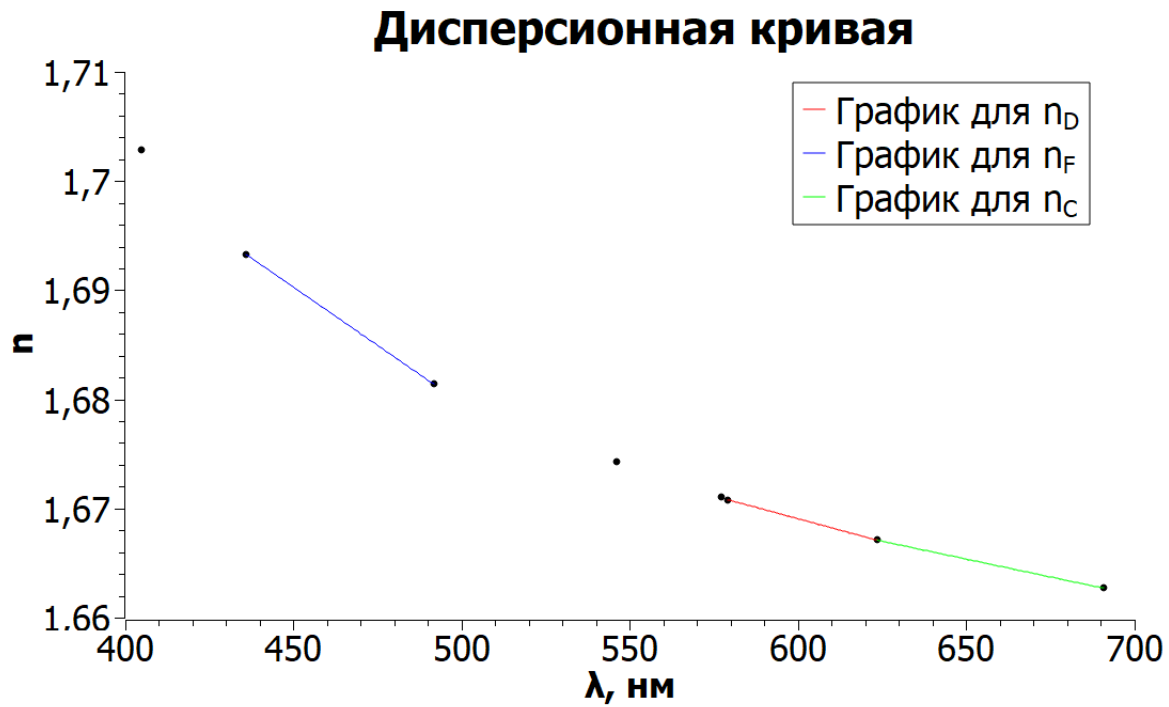


Рис. 7: Дисперсионная кривая

4. Определим максимальную разрешающую способность призмы по формуле:

$$R = b \frac{dn}{d\lambda},$$

здесь $dn/d\lambda = (1,39 \pm 0,16) \cdot 10^5$ м. Следовательно максимальная разрешаемая способность линзы:

$$R = 10008 \pm 1160$$

Также рассчитаем экспериментальную величину R по измерениям желтого дублета:

$$R > \frac{\lambda}{\delta\lambda} = 275$$

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

$$a \cdot 100100 \text{ штр/мм} = R = b \frac{dn}{d\lambda}$$

$$a = 10 \pm 1, \text{ см}$$

6. Рассчитаем угловую дисперсию $d\varphi/d\lambda = D(\lambda)$ по измерениям желтых дуплетов. Ее можем посчитать зная зависимость $n(\lambda)$ в районе желтых дуплетов по формуле:

$$D = n_1 - n_2 = (1,76 \pm 0,001) \cdot 10^{-4} \text{ рад/нм}$$

Сравним ее с дисперсией решетки в первом порядке имеющей 100 штр/мм:

$$D = \frac{1}{100 \text{ штр/мм}} = 0,01 \text{ мм}.$$

Вывод

Ознакомились с работой гониометра, исследовали дисперсию света ртутной лампы на стеклянной призме. По измеренным данным определили показатели преломления для длин волн жёлтого дублета натрия, голубой и красной линий водорода. Также оценили разрешающую способность призмы, рассчитали среднюю дисперсию стекла. Сравнили разрешающую способность и угловую дисперсию призмы с соответствующими параметрами дифракционной решётки.