

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа радиотехники и компьютерных технологий



Лабораторная работа № 4.4.3
ИЗУЧЕНИЕ ПРИЗМЫ С ПОМОЩЬЮ
ГОНИОМЕТРА

Авторы:
Голенских Никита
гр. Б01-205

Долгопрудный 2024

Содержание

1	Аннотация	2
1.1	Цель работы	2
1.2	Оборудование	2
2	Теоретическое введение	2
3	Ход работы	3
3.1	Юстировка гониометра и установка призмы	3
3.2	Измерение преломляющего угла	3
3.3	Разрешающая способность	4
4	Обработка результатов	4
5	Вывод	6

1 Аннотация

1.1 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.

1.2 Оборудование

Гониометр, ртутная лампа, призма.

2 Теоретическое введение

Гониометр служит для точного измерения углов и находит широкое применение в оптических лабораториях. С помощью гониометра можно определять показатели преломления и преломляющие углы призмы 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.

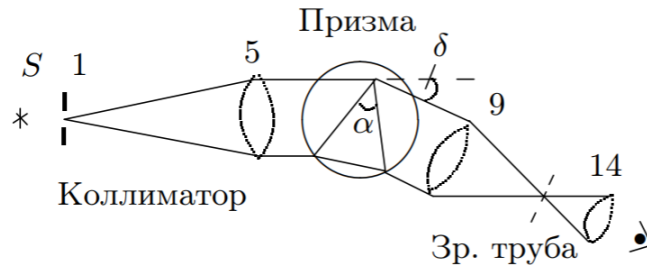


Рис. 1: Оптическая схема эксперимента

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. 1) и показатель преломления n связаны между собой соотношением

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

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):

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

где 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.

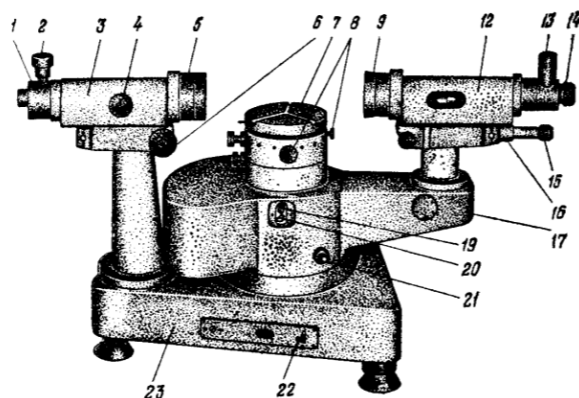


Рис. 2: Внешний вид гониометра

3 Ход работы

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

3.1 Юстировка гониометра и установка призмы

1. Поворачивая столик рукой, установили его на глаз горизонтально при помощи двух винтов, ориентированных взаимно перпендикулярно. Установили зрительную трубу на бесконечность и поверхность столика перпендикулярно оси вращения прибора. Настроили коллиматор, подобрали рабочую ширину входной щели так, чтобы её видимая ширина составляла 1,5–2 расстояния между полосами двойного отсчётного штриха. Записали начало отсчета: $258^{\circ}26'28''$.
2. Поставили рабочую призму так, чтобы её преломляющее ребро было вертикально, а одна из рабочих граней была перпендикулярна одному из установочных винтов, подстроили столик и отрегулировали винты.

3.2 Измерение преломляющего угла

1. Для определения минимального угла отклонения δ поставили призму на столике так, чтобы её основание было параллельно оси коллиматора (на глаз). Расположили лист бумаги за призмой и нашли на нём спектр, вращая столик рукой. Продолжая поворачивать столик и наблюдая за перемещением спектра, нашли положение столика с призмой, соответствующее минимальному отклонению преломлённого луча от направления падающего луча.
2. Нашли спектр в зрительную трубу, настроились на одну из жёлтых линий (см. рис. 3 и табл. 1) и, вращая столик сначала рукой, а затем винтом тонкой подачи, установили его в такое положение, при котором отклонение выбранной спектральной линии от направления оси коллиматора оказывается наименьшим.

№	K_1	K_2	1	2	3	4	5	6
λ , нм	690,7	623,4	579,1	577,0	546,1	491,6	435,8	404,7
Цвет	красн.	красн.	желт.	желт.	зелен.	голуб.	синий	фиолет.
Яркость	4	4	10	8	10	4	4	3

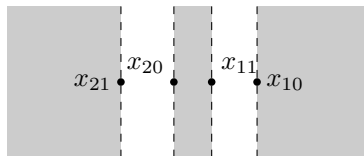
Таблица 1: Характеристики спектра ртутной лампы ДРШ

3. Вращая алидаду сначала от руки при освобождённом винте, а затем винтом тонкой подачи при закреплённом винте, совместили двойной штрих измерительной сетки с выбранной линией и сняли отсчёт по лимбу. Для каждой линии спектра (рис. 3) нашли минимум отклонения (своё положение столика с призмой) и определили координату линии:

№	K_1	K_2	1	2	3	4	5	6
Шкала	$314^{\circ}01'12''$	$314^{\circ}29'41''$	$314^{\circ}50'59''$	$314^{\circ}51'53''$	$315^{\circ}12'12''$	$315^{\circ}59'18''$	$317^{\circ}49'6''$	$319^{\circ}12'56''$
δ	$57^{\circ}34'44''$	$58^{\circ}03'13''$	$58^{\circ}24'31''$	$58^{\circ}25'25''$	$58^{\circ}45'44''$	$59^{\circ}32'50''$	$61^{\circ}22'38''$	$62^{\circ}46'28''$

3.3 Разрешающая способность

Для оценки разрешающей способности призмы измерили угловую ширину жёлтых линий дублета, предварительно установив минимально возможную ширину входной щели:



x_{21}	x_{20}	x_{11}	x_{10}
2'18"	1'51"	1'19"	0'54"

Измерили линейкой длину $b = 7,4 \pm 0,1$ см основания призмы.

4 Обработка результатов

1. Рассчитали минимальные углы отклонения $\delta(\lambda)$ и показатель преломления $n(\alpha, \delta)$ по формуле (1) и построили дисперсионную кривую $n(\lambda)$:

λ , нм	690,7	623,4	579,1	577,0	546,1	491,6	435,8	404,7
n , нм	1,6468	1,6508	1,6538	1,6540	1,6568	1,6634	1,6784	1,6895

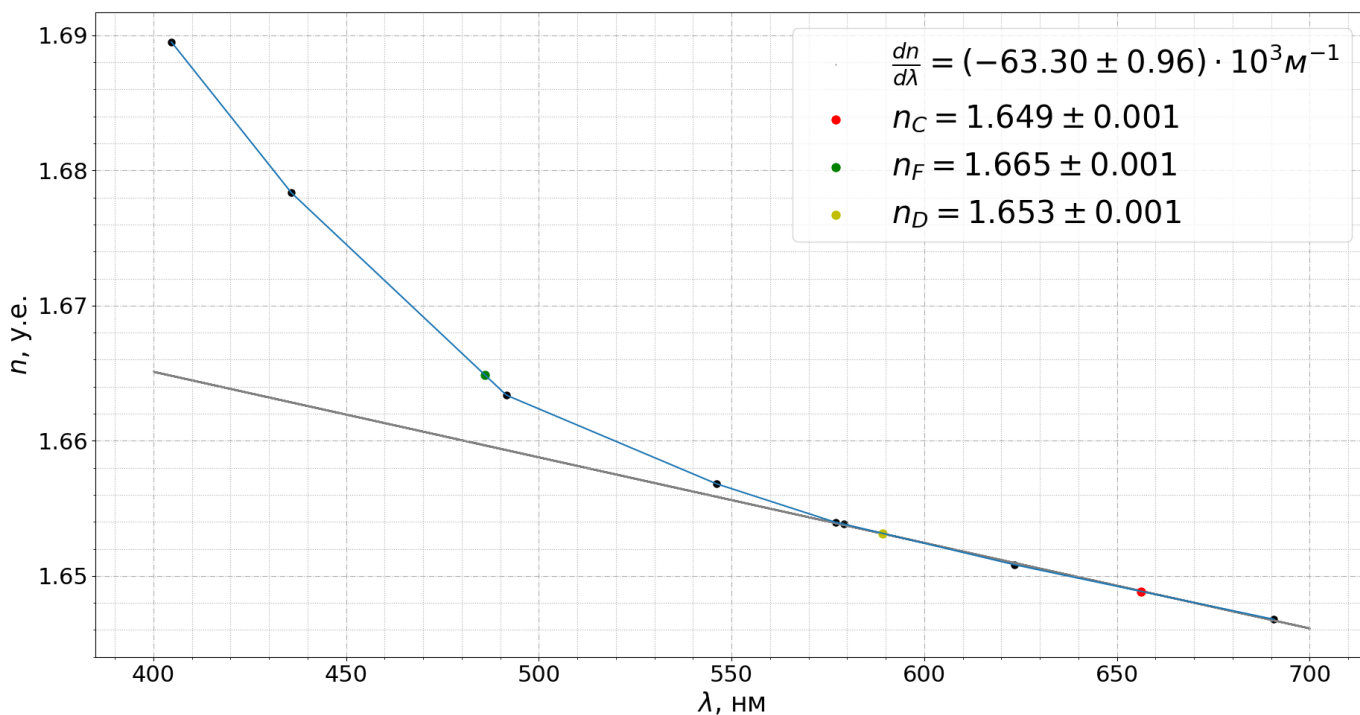


Рис. 3: Дисперсионная кривая

Комментарий по поводу погрешностей в эксперименте: погрешность угла призмы неизвестна, но стоит полагать, что она на несколько порядков больше погрешности измерений. При этом для построения графиков и дальнейших расчётов по ним обе погрешности не имеют значения.

2. Определили по графику

$$n_D = 1,653 \pm 0,001, \quad n_F = 1,665 \pm 0,001, \quad n_C = 1,649 \pm 0,001,$$

и рассчитали среднюю дисперсию стекла по формуле (2):

$$D = n_F - n_C = 0,016 \pm 0,002.$$

При определении n_C с помощью спектра ртутной лампы дисперсионную кривую приходится несколько экстраполировать в область длинных волн. Рассчитали число Аббе по формуле (3)

$$\nu = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C} = 41.13 \pm 5.14$$

и определили по таблицам сорт стекла — предположительно баритовый флинт.

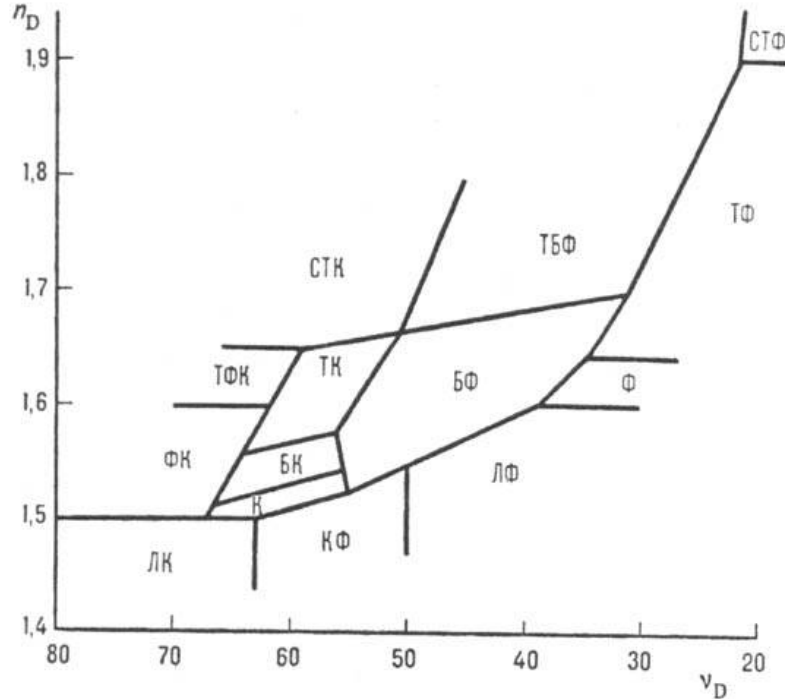


Рис. 4: Диаграмма Аббе: ЛК — лёгкие кроны; ФК — фосфатные кроны; ТК — тяжёлые фосфатные кроны; К — кроны; БК — баритовые кроны; ТК — тяжёлые кроны; КФ — кронфлинты; БФ — баритовые флинты; ТБФ — тяжёлые баритовые флинты; ЛФ — лёгкие флинты; Ф — флинты; ТФ — тяжёлые флинты; СТФ — сверхтяжёлые флинты; СТК — сверхтяжёлые кроны.

- По наклону кривой $dn/d\lambda = -(63 \pm 1) \cdot 10^3 \text{ м}^{-1}$ рассчитали максимальную разрешающую способность призмы по формуле (4):

$$R = b \frac{dn}{d\lambda} = 4684 \pm 95.$$

Рассчитали экспериментальную величину R по измерениям жёлтого дублета:

$$R_{dbl} = \frac{\lambda}{\delta\lambda} \approx 275.$$

Получаем, что реально рабочий размер призмы составляет:

$$b_{eff} = b \cdot \frac{R_{dbl}}{R} = 4.3 \text{ мм}$$

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

$$a \cdot 100 \text{ штр./мм} = R = b \frac{dn}{d\lambda},$$

$$a = 32 \pm 1 \text{ мм}.$$

- Рассчитали угловую дисперсию $d\varphi/d\lambda = 0.0042 \pm 0.0003 \text{ }^\circ/\text{нм}$ по измерениям жёлтого дублета

5 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. По полученным значениям сделали предположение о сорте стекла. Сравнили разрешающую способность и угловую дисперсию призмы с соответствующими параметрами дифракционной решётки.