

Московский физико-технический институт
(государственный университет)

Лабораторная работа по оптике

Изучение призмы с помощью гониометра [4.4.3]

Талашкевич Даниил Александрович
Группа Б01-009

Долгопрудный
2022

Содержание

1	Аннотация	1
2	Теоретическое введение и Экспериментальная установка	1
3	Ход работы	3
4	Литература	8

1 Аннотация

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.

2 Теоретическое введение и Экспериментальная установка

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

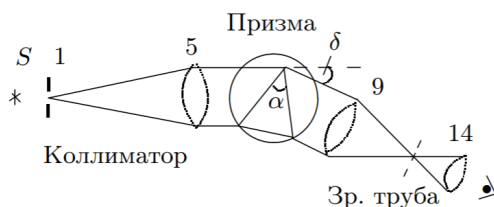


Рис. 1: Оптическая схема эксперимента

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.

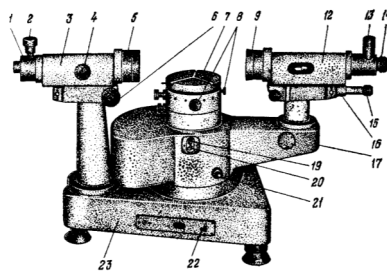


Рис. 2: Внешний вид гониометра

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.

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, выбрали рабочую ширину входной щели так, чтобы её видимая ширина составляла 1,5–2 расстояния между полосами двойного отсчётного штриха. Установили начало отсчёта в $0^{\circ}1'00''$.
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.

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.
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

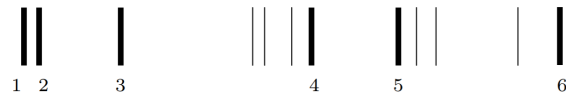


Рис. 3: Спектр ртутной лампы ДРШ-250

№	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-250

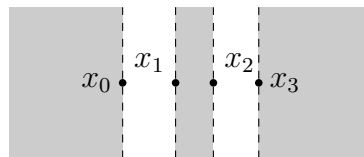
отсчёт по лимбу. Для каждой линии спектра (рис. 3) нашли минимум отклонения (своё положение столика с призмой) и определили координату линии:

№	K_1	K_2	1	2	3
δ	51°00'49"	51°37'25"	52°01'15"	52°02'14"	52°22'32"

№	4	5	6
δ	53°09'17"	54°20'46"	55°19'26"

Разрешающая способность

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



x_0	x_1	x_2	x_3
7'15"	6'41"	5'54"	5'24"

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

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
n , нм	1,6484	1,6544	1,6583	1,6584

λ , нм	546,1	491,6	435,8	404,7
n , нм	1,6617	1,6693	1,6806	1,6898

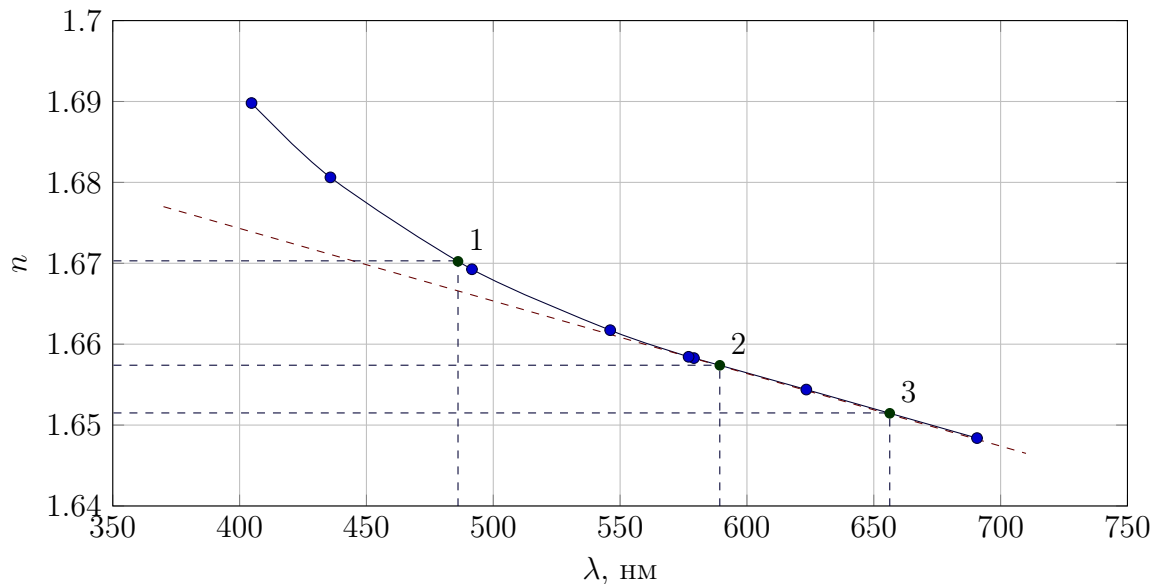


Рис. 4: Дисперсионная кривая

Комментарий по поводу погрешностей в эксперименте: погрешность угла призмы неизвестна, но стоит полагать, что она на несколько порядков больше погрешности измерений, то есть $0^{\circ}0'1''$. При этом для построения графиков и дальнейших расчётов по ним, вероятно, обе погрешности не имеют значения, так как не разрешаются на бумаге.

2. Определили по графику

$$n_D = 1,658 \pm 0,001; \quad n_F = 1,670 \pm 0,001; \quad n_C = 1,652 \pm 0,001,$$

и рассчитали среднюю дисперсию стекла по формуле (2):

$$D = n_F - n_C = 0,018 \pm 0,002.$$

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

$$\nu = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C} = 36 \pm 4,$$

и определили по таблицам сорт стекла — предположительно баритовый флинт.

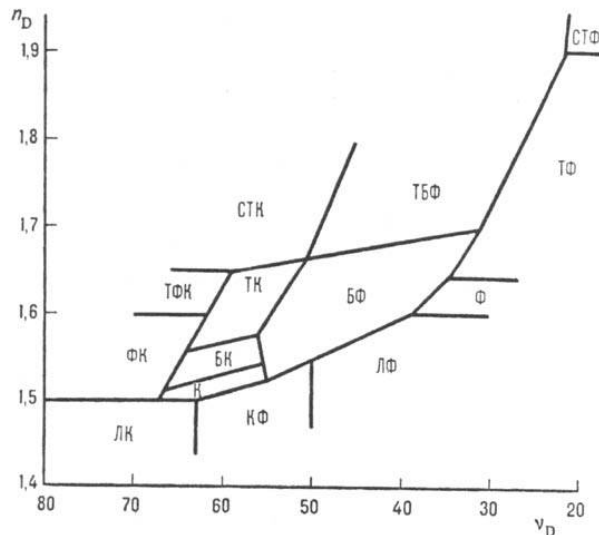


Рис. 5: Диаграмма Аббе: ЛК — лёгкие кроны; ФК — фосфатные кроны; ТК — тяжёлые фосфатные кроны; К — кроны; БК — баритовые кроны; ТК — тяжёлые кроны; КФ — кронфлинты; БФ — баритовые флинты; ТБФ — тяжёлые баритовые флинты; ЛФ — лёгкие флинты; Ф — флинты; ТФ — тяжёлые флинты; СТФ — сверхтяжёлые флинты; СТК — сверхтяжёлые кроны.

3. По наклону кривой $dn/d\lambda = (8,9 \pm 0,5) \cdot 10^4 \text{ м}^{-1}$ рассчитали максимальную разрешающую способность призмы по формуле (4):

$$R = b \frac{dn}{d\lambda} = 6700 \pm 500.$$

Рассчитали экспериментальную величину R по измерениям жёлтого дублета:

$$R > \frac{\lambda}{\delta\lambda} \approx 275.$$

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

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

$$a = 44 \pm 3 \text{ мм.}$$

4. Рассчитали угловую дисперсию $d\phi/d\lambda = 0,0126 \pm 0,0006^\circ/\text{нм}$ и по измерениям жёлтого дублета и сравнили её с дисперсией решётки в первом порядке, имеющей 100 штр./мм:

$$D = \frac{1}{100 \text{ штр./мм}} = 0,01 \text{ мм} = 5,73 \cdot 10^5^\circ/\text{нм}.$$

Вывод

В ходе выполнения мы исследовали дисперсию стеклянной призмы. По измеренным данным определили характеристики призмы как показатели преломления для длин волн жёлтого дублета натрия, голубой и красной линий водорода:

$$n_D = 1,658 \pm 0,001, \quad n_F = 1,670 \pm 0,001, \quad n_C = 1,652 \pm 0,001,$$

и рассчитали среднюю дисперсию стекла:

$$D = n_F - n_C = 0,018 \pm 0,002.$$

По полученным значениям сделали предположение о сорте стекла: число Аббе по формуле:

$$\nu = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C} = 36 \pm 4,$$

по таблицам сорт стекла — предположительно баритовый флинт.

4 Литература

1. Лабораторный практикум по общей физике. В 3 т. Том 2. Оптика: учебное пособие
2. <http://mathhelpplanet.com> (МНК и регрессионный анализ)