

Изучение призмы с помощью гониометра

Шмаков Владимир — ФФКЭ Б04-105

МФТИ — март 2023

Цель работы

- Знакомство с работой и настройкой гониометра
- Определение зависимости показателя преломления стекла призмы от длины волны
- Определение марки стекла по полученным данным

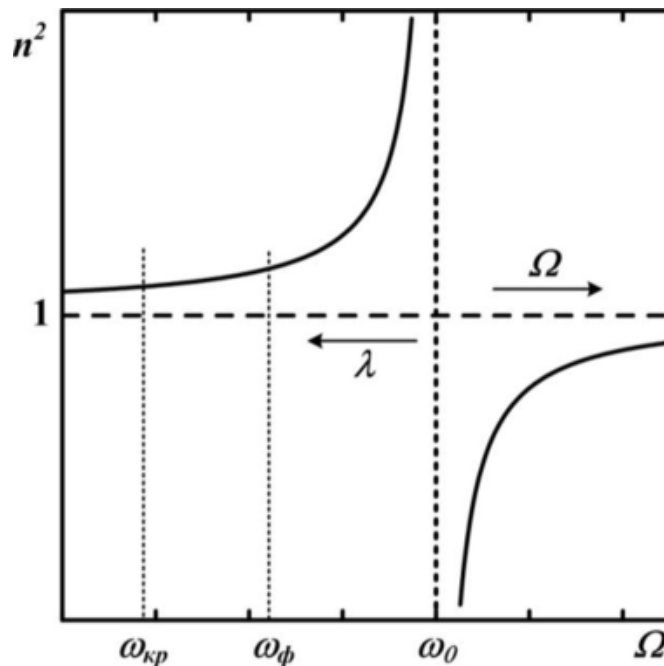
Теоретические сведения

Зависимость показателя преломления от длины волны

Как мы знаем, показатель преломления любого материала зависит от длины волны падающего на материал света. В общем случае, данная зависимость имеет вид:

$$n^2 = \epsilon = 1 + \frac{w_p^2}{w_0^2 - w^2}, \text{ где } w_0 - \text{собственная частота колебаний электрона}$$

Если круговая частота падающей волны оказывается левее w_0 , то n - действительное число. Такая область называется **областью нормальной дисперсии**. В противном случае n оказывается мнимым числом — мы попадаем в **область аномальной дисперсии**.



Зависимость квадрата показателя преломления от длины волны

Это замечательное свойство материалов активно используется в спектроскопии. Комбинируя различные виды стекла, и их форму можно создавать призмы для решения разных физических задач. И именно этот эффект позволяет описать явление дисперсии, благодаря которому на нашем небе возникает красочная картина радуги.

Характеристики спектральных приборов

- **Разрешающая способность** - $R = \lambda / \delta\lambda$ - возможность различать две близкие спектральные линии с длинами волн λ и $\lambda + \delta\lambda$

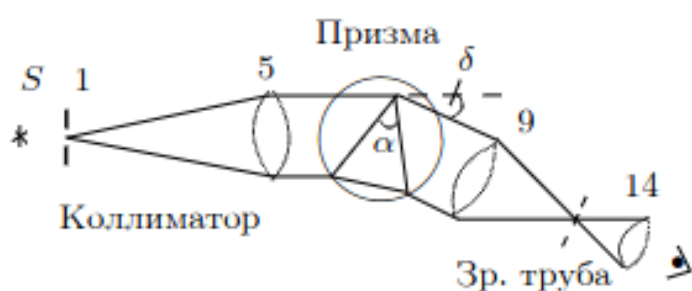
- **Угловая дисперсия** - $D = d\phi/d\lambda$ - позволяет определять угловое расстояние между двумя близкими спектральными линиями
- **Дисперсионная область** — предельная ширина спектрального интервала прибора
- **Число Аббе** — мера дисперсии света в прозрачных средах. Величина числа Аббе обратно пропорциональна величине **хроматической аберрации**.

Методика

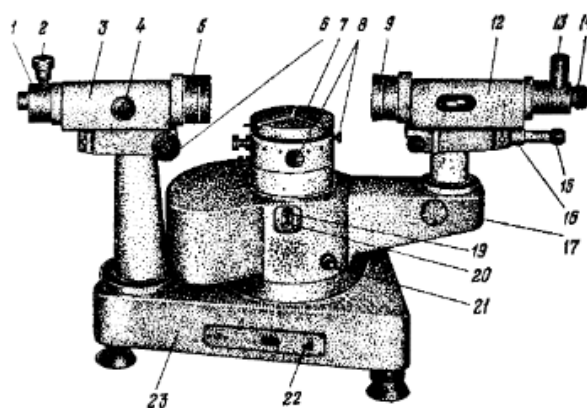
Оборудование

- Гониометр
- Ртутная лампа
- Призма

Экспериментальная установка



Оптическая схема



Внешний вид гониометра

Схема экспериментальной установки изображена на рисунке выше. Гониометр служит для определения углов, под которыми наблюдается различные спектральные компоненты.

В эксперименте используется призма, изготовленная из тяжелого флинта. Показатель преломления удобно определять по углу наименьшего отклонения $\delta(\lambda)$. Формула (1) позволяет связать показатель преломления, угол наименьшего отклонения и угол при вершине призмы.

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

Коэффициент дисперсии и средняя дисперсия — важные характеристики оптических материалов. По определению, они равны:

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

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

Значения n_D , n_F , n_C определяются по графику. Они соответствуют длинам волн:

- n_D - для среднего значения длин волн желтого дуплета натрия $\lambda_D = 589.3$
- n_F - для голубой линии водорода $\lambda_F = 486.1$
- n_C - для красной линии водорода $\lambda_C = 656.3$

Еще одной важной характеристикой призмы, как спектрального прибора, является разрешающая способность. Её позволяет определить наклон наилучшей прямой:

$$R = b \frac{dn}{d\lambda}, \text{ где } b - \text{длина основания призмы}$$

(4)

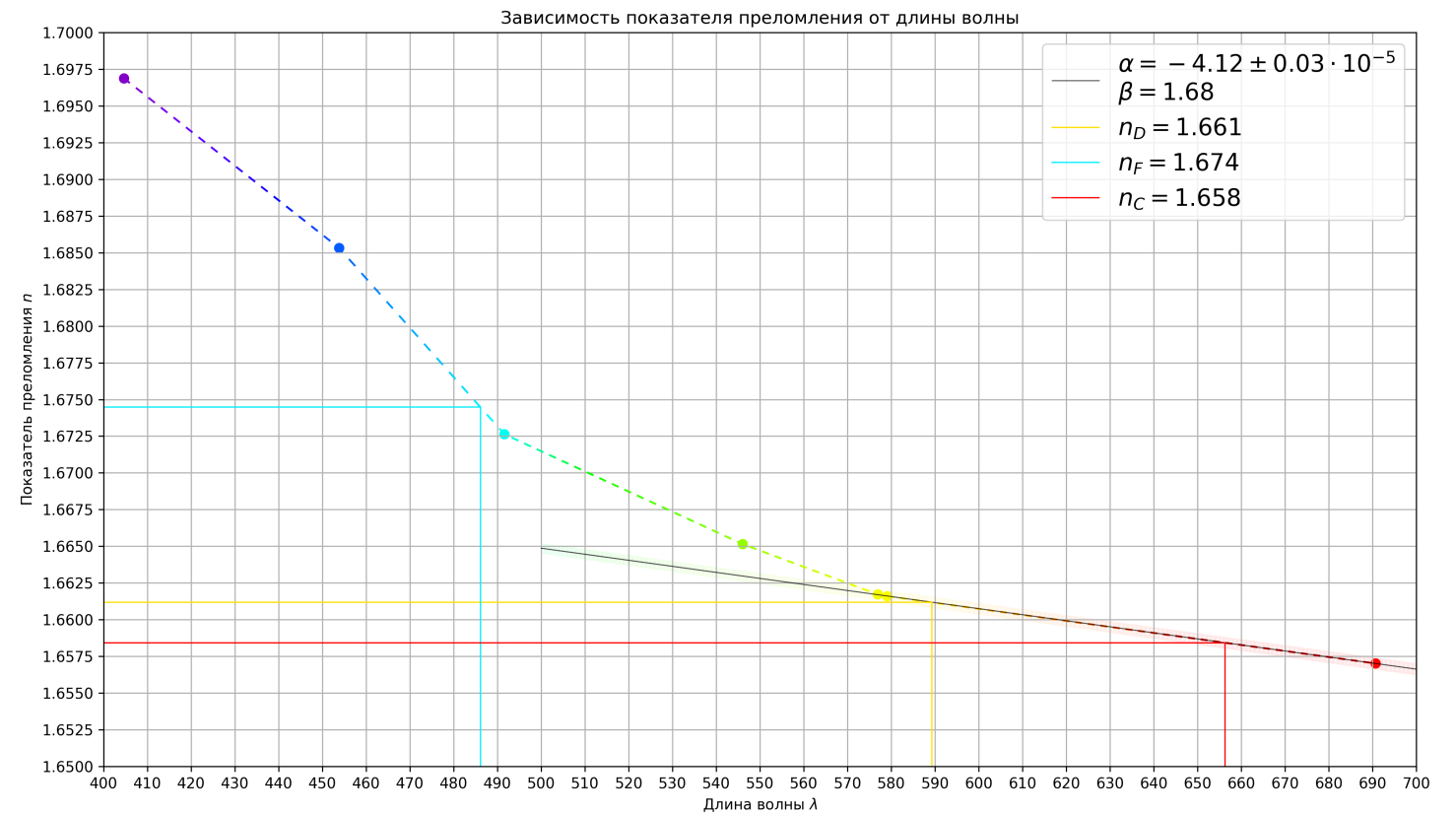
Обработка результатов эксперимента

Зависимость показателя преломления от длины волны

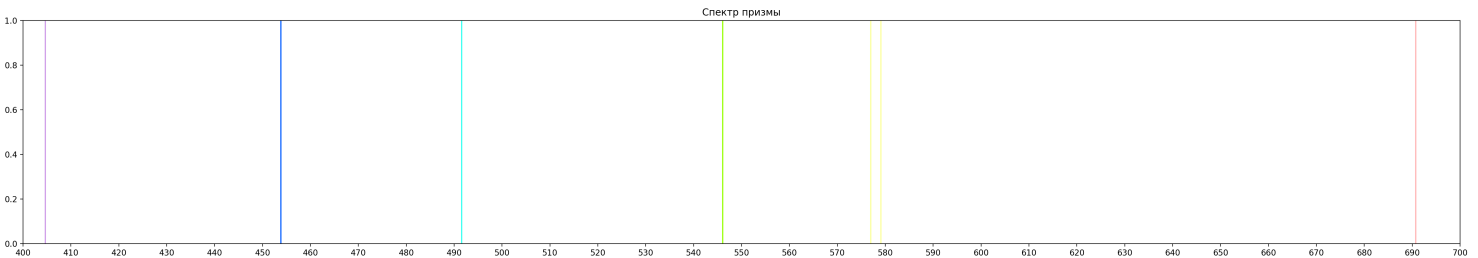
В результате эксперимента получили следующие данные:

N	λ [нм]	угол °	минуты'	секунды"	n
0	690.72	51	40	808	1.657
1	576.96	52	10	746	1.662
2	579.07	52	10	700	1.662
3	546.07	52	40	219	1.665
4	491.6	53	30	21	1.673
5	453.83	54	50	37	1.685
6	404.66	55	50	901	1.697

Показатель преломления n рассчитан по формуле (1). Построим дисперсионную кривую. Найденная функция `wave2rgb` позволяет перевести длину волны в восьмибитный rgb цвет. Цвета на графике ниже соответствуют цветам, которые наблюдались в эксперименте.



Зависимость показателя преломления от длины волны



Определение материала призмы

Построим линии между ближайшими экспериментальными точками. Полученная интерполяция позволяет оценить коэффициенты преломления n_D, n_F, n_C :

	<i>D</i>	<i>F</i>	<i>C</i>
λ [нм]	589.3	486.1	656.3
<i>n</i>	1.661 ± 0.001	1.674 ± 0.001	1.658 ± 0.001

Теперь, по формуле (2) рассчитаем среднюю дисперсию стекла, из которого изготовлена призма:

$$D = n_F - n_C = 0.016 \pm 0.002$$

По формуле (3) оценим коэффициент дисперсии:

$$\nu = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C} = 41 \pm 5$$

Полученные данные позволяют определить материал стекла, из которого изготовлена призма. На найденную в [ВИКИПЕДИИ](#) диаграмму Аббе нанесём ранее рассчитанные значения:

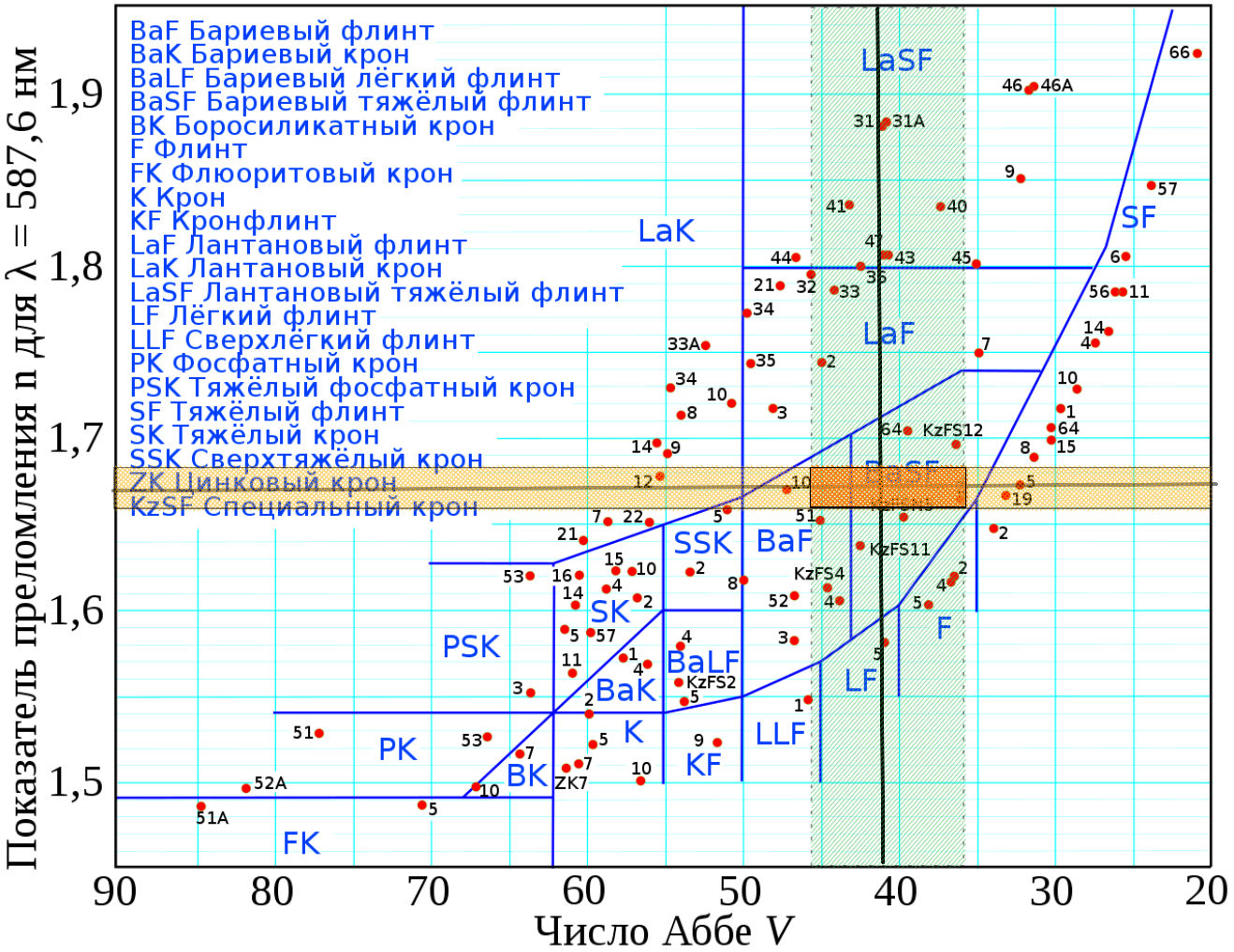


Диаграмма Аббе

Построим интервалы вычисленных значений на диаграмме. Оранжевый прямоугольник лежит в области BaF и $BaSf$ - Бариевый флинт и Бариевый тяжелый флинт.

Оценка разрешающей способности

При помощи линейки измерим размер основания призмы. Он оказался равен $b = 7.2 \pm 0.1 \text{ см}$.

Методом наименьших квадратов линеаризуем кривую в области $550 - 700 \text{ нм}$. Наклон полученной прямой позволяет вычислить значение максимальной разрешающей способности призмы:

$$R_{max} = b \cdot \alpha = 3000 \pm 250$$

Во время эксперимента, была проведена оценка разрешающей способности с помощью ширины полос желтого дуплета. Тогда получили значение $R_{жс} = \lambda / \delta\lambda = 200$.

Значения не взаимоисключают друг-друга. Максимальная разрешающая способность оказалась много больше оценки $R_{жс}$.

Вывод

В результате эксперимента удалось оценить параметры используемой призмы.

Результат эксперимента по выявлению материала призмы сошелся с данными, описанными в лабораторном практикуме. Призма действительно изготовлена из тяжелого флинта.

По ходу эксперимента удалось оценить важные характеристики призмы, как спектрального прибора. Удалось построить зависимость показателя преломления от длины волны в области видимого света.