

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4.4.1

Амплитудная дифракционная
решётка

выполнили студенты 006 и 007 группы ФЭФМ

Штрайх Роберт

Петрова Софья

Долгопрудный, 2022 г.

Цель работы: Знакомство с работой и настройкой гониометра Г5, определение спектральных характеристик амплитудной решетки.

В работе используются: гониометр, дифракционная решетка, ртутная лампа.

Теоретическое введение

1. Основное соотношение приближенной теории дифракционной решетки:

$$d \sin \varphi_m = m\lambda. \quad (1)$$

Угловая дисперсия D характеризует угловое расстояние между близкими спектральными линиями:

$$D = \frac{d\varphi}{d\lambda} = \frac{m}{d \cos \varphi} = \frac{m}{\sqrt{d^2 - m^2 \lambda^2}}. \quad (2)$$

Т.е. это производная зависимости угла отклонения волны диспергирующим элементом по длине волны.

2. Разрешающая способность $R = \frac{\lambda}{\delta\lambda}$ характеризует возможность прибора различать две близкие спектральные линии с длинами волн λ и $\lambda + \delta\lambda$.

3. Также стоит выделить дисперсионную область, которая является предельной шириной спектрального интервала $\Delta\lambda$ прибора, для которой дифракционные максимумы соседних порядков не перекрываются. Она определяет диапазон длин волн, при которых прибор может быть использован для анализа спектра. Полуширина линии $\delta\varphi = \frac{\lambda}{Nd \cos \varphi}$. Разрешающую способность в силу критерия Релея можно записать в следующем виде $R = Nm$.

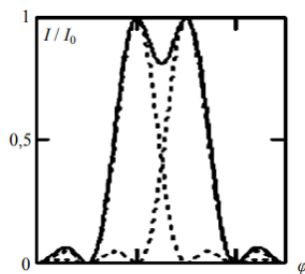


Рис. 1: Иллюстрация к критерию Релея

Экспериментальная установка

Устройство гониометра Г5

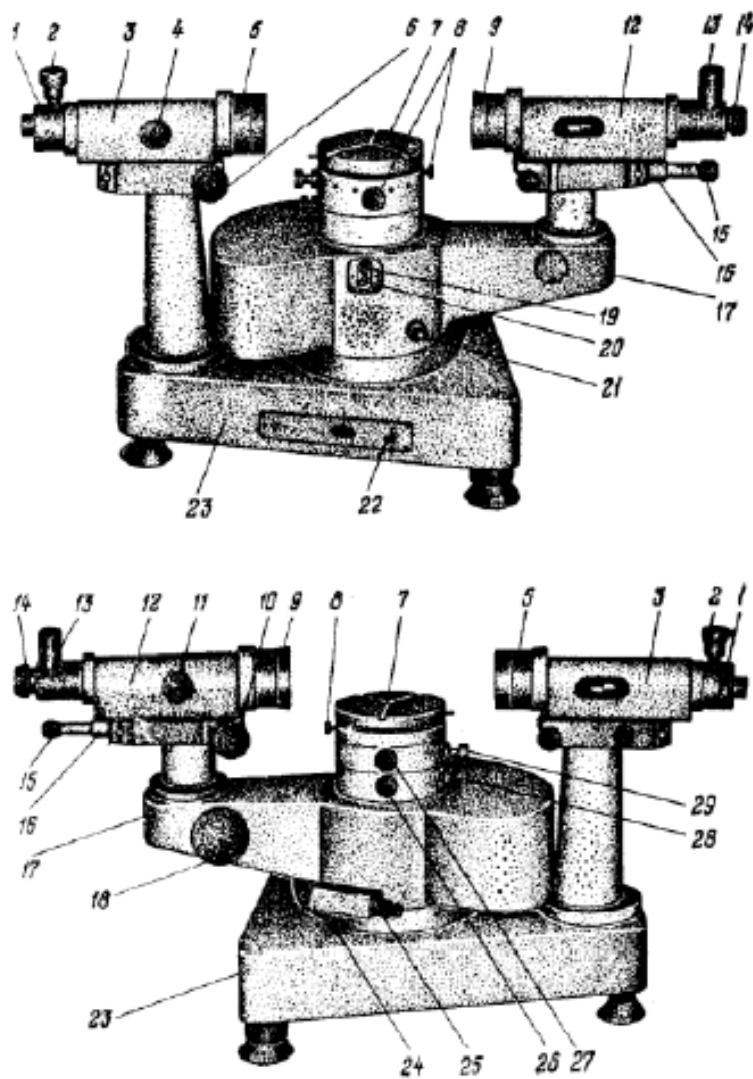


Рис. 2: Гониометр Г5

Опишем некоторые обозначенные на рисунке гониометра элементы. Коллиматор 3, столик 7 и алидада 17 со зрительной трубой 12 крепится на массивном основании 23. На столике 7 размещаются исследуемые объекты. Коллиматор закреплен неподвижно, а столик и алидада с трубой

могут вращаться вокруг вертикальной оси.

Дифракционная решетка

При работе с дифракционной решеткой основной задачей является точное измерение углов, при которых наблюдаются главные максимумы для различных длин волн. В нашей работе для измерения углов используется гониометр Г5.

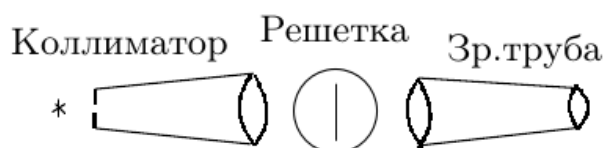


Рис. 3: Принципиальная схема установки

Спектр ртутной лампы

Каждая линия спектра имеет свою ширину и тонкую структуру. Ниже приведены некоторые интегральные характеристики спектральных линий для лампы ДРШ - 250.



Рис. 4: Спектр ртутной лампы ДРШ-250

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

Рис. 5: Характеристики ДРШ-250

Ход работы

1. Измерим угловые координаты спектральных линий ртути в ± 1 порядках ($\sigma_\varphi = 2.4 \cdot 10^{-5}$ рад).

Цвет	фиолетовый	голубой	зеленый	желтый	желтый	красный	красный
φ	11,77	13,7	15,7	16,75	16,79	17,63	17,78
$\sin \varphi$	0,204	0,237	0,271	0,288	0,289	0,303	0,305
λ , нм	404,66	491,6	546,07	576,96	579,07	623,4	690,72

Таблица 1: Результаты измерений угловых координат спектральных линий

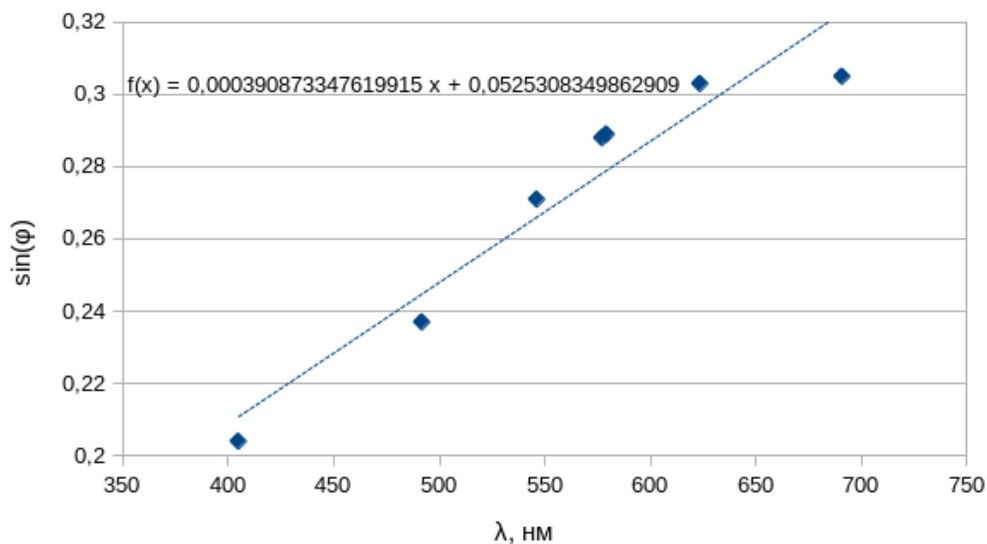


Рис. 6: Зависимость $\sin \varphi(\lambda)$

Определим период решетки:

$$\sigma_d = \sigma \frac{1}{k} = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\langle \lambda \sin \varphi \rangle - \langle \lambda \rangle \langle \sin \varphi \rangle}{\langle \sin^2 \varphi \rangle - \langle \sin \varphi \rangle^2}}$$

$$d = \frac{1}{k} = (2558 \pm 250) \text{ нм}$$

2. Рассчитаем и сравним между собой экспериментальную и теоретическую угловую дисперсию для желтого дублета в спектрах разного порядка. Для расчета теоретической дисперсии возьмем среднюю длину волны желтого дублета.

$$D_{\tau} = \frac{m}{\sqrt{d^2 - m^2 \lambda^2}}; \quad \sigma_{D_{\tau}} = \frac{md}{(d^2 - m^2 \lambda^2)^{3/2}}$$

m	1	2	3
$D_{\tau} \cdot 10^{-5}, \text{ рад}/\text{\AA}$	4,01	8,76	15,93
$\sigma_{D_{\tau}} \cdot 10^{-9}, \text{ рад}/\text{\AA}$	1,65	4,3	11,49

Таблица 2: Теоретически рассчитанная угловая дисперсия

Для оценки экспериментальной угловой дисперсии определим разности угловых координат линий желтого дублета во всех видимых порядках ($\Delta\lambda = 21 \text{ \AA}$):

$$D_{\vartheta} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta\lambda}$$

$$\sigma_{\Delta\varphi} = \sqrt{2}\sigma_{\varphi} = 3.39 \cdot 10^{-5} \text{ рад}$$

$$\frac{\sigma_{D_{\vartheta}}}{D_{\vartheta}} = \frac{\sigma_{\Delta\varphi}}{\Delta\varphi}$$

m	1	2	3
$D_{\vartheta} \cdot 10^{-5}, \text{ рад}/\text{\AA}$	3,02	8,04	17,01
$\sigma_{D_{\vartheta}} \cdot 10^{-6}, \text{ рад}/\text{\AA}$	1,61	1,61	1,62
$\Delta\varphi \cdot 10^{-5}, \text{ рад}$	63,42	168,84	357,21

Таблица 3: Экспериментально найденная угловая дисперсия

Значения угловой дисперсии с повышением порядка спектра линейно возрастают.

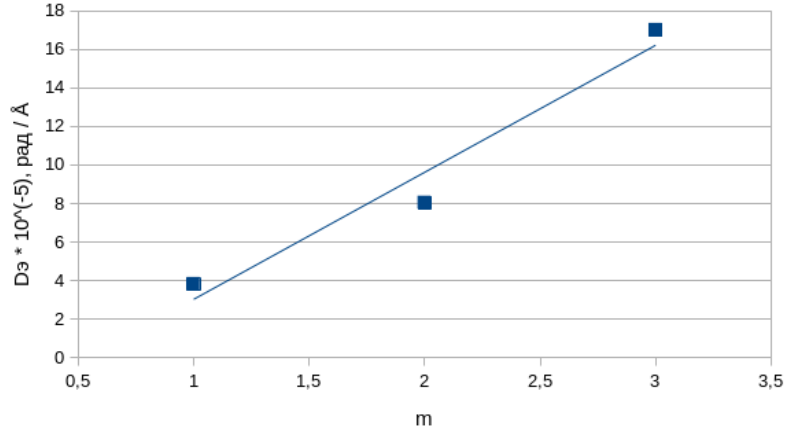


Рис. 7: Зависимость $D_3(m)$

3. Оценим разрешимый спектральный интервал $\delta\lambda$, зная угловую полуширину желтой линии и угловую дисперсию. Ширина одной из линий желтого дублета $47'' = 2.277 \cdot 10^{-4}$ рад:

$$\frac{\sigma_{\delta\lambda}}{\delta\lambda} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\Delta\varphi}}{\Delta\varphi}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_D}{D}\right)^2}$$

$$\delta\lambda \approx \frac{\Delta\varphi}{D} = (2.8 \pm 0.49) \text{ Å}$$

Оценим разрешающую способность для средней длины волны жёлтого дублета:

$$\frac{\sigma_R}{R} = \frac{\sigma_{\delta\lambda}}{\delta\lambda}$$

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = (2060.71 \pm 360.62)$$

Оценим число эффективно работающих штрихов решётки и её эффективный размер:

$$\frac{\sigma_N}{N} = \frac{\sigma_R}{R}$$

$$N = \frac{R}{m} = (1030 \pm 180)$$

$$\frac{\sigma_l}{l} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_N}{N}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_d}{d}\right)^2}$$

$$l = Nd \approx (2.63 \pm 0.52) \text{ мм}$$

4. Рассчитаем порядок спектра, при котором фиолетовая линия наложится на желтую:

$$m = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \approx 192$$

Выводы

- Мы ознакомились с устройством и работой гониометра, произвели его юстировку.
- Определили спектральные характеристики используемой в работе амплитудной решетки: её шаг, угловую дисперсию, число эффективно работающих штрихов и эффективный размер решётки.