

Амплитудная дифракционная решетка.

Батарин Егор

10 апреля 2021 г.

Аннотация

Знакомство с работой и настройка гониометра Г5, определение спектральных характеристик амплитудной решетки.

1 Теория

1.1 Общие понятия

Оптические приборы, в которых осуществляется физическое разложение электромагнитного излучения на монохроматические составляющие, называются спектральными. По характеру распределения интенсивности в спектральном разложении спектры могут быть разделены на линейчатые и непрерывные.

Принципиальная установка изображена на рис.5. Свет от источника S попадает на экран с щелью. Коллиматор формирует близкие к параллельному пучок лучей. После, свет попадает на диспергирующий элемент. Наблюдение производится через трубу, установленную на ∞

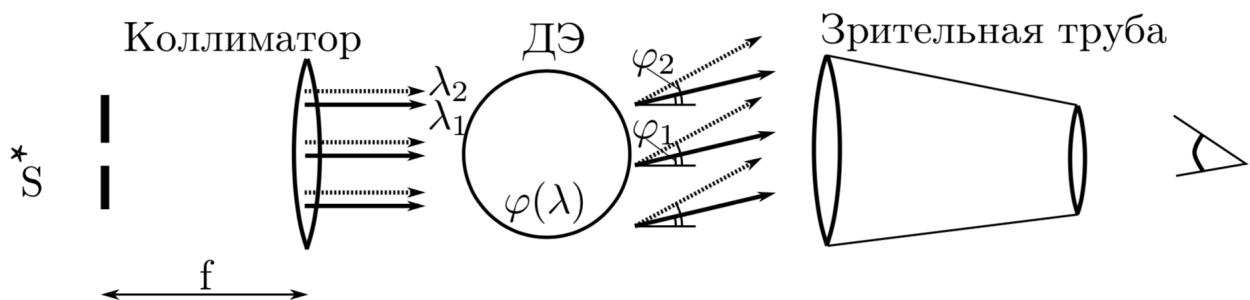


Рис. 1: Схема прибора: источник-коллиматор – диспергирующий элемент – зрительная труба

Каждой монохроматической компоненте с λ соответствует один или несколько углов $\varphi(\lambda)$ на выходе из прибора, в направлении которых интенсивность прибора максимальна. При известной зависимости $\varphi(\lambda)$ по измеренному углу поворота φ зрительной трубы можно определить длину волны спектральной линии.

Наиболее важными характеристиками спектральных приборов являются угловая дисперсия, разрешающая способность и дисперсионная область.

1.2 Амплитудная дифракционная решетка

Амплитудная решетка представляет собой N параллельных щелей (рис.2), период решетки равен d, ширина штриха - b. Наблюдение ведем на бесконечности (дифракция Фраунгофера). Амплитуда и интенсивность поля световой волны определяются углом φ . Полагаем, что амплитуда падающих лучей единична. Интенсивность дифрагированного света максимальная для углов φ_m , при которых волны, приходящие в точку наблюдения оказываются в фазе:

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

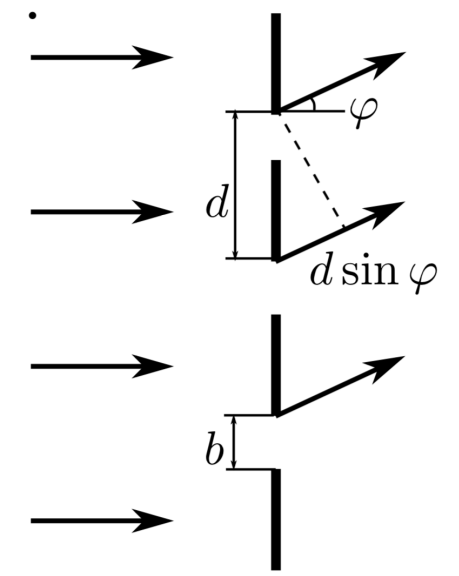


Рис. 2: Дифракция световой волны на амплитудной решетке

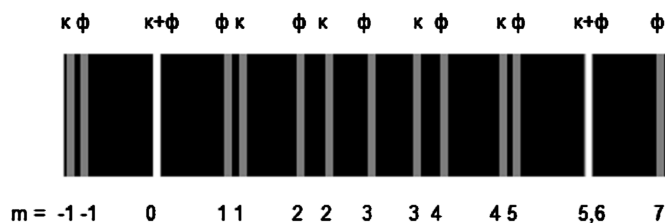


Рис. 3: Изображение спектра двух линий

Рассмотрим пример с двумя спектральными линиями красной и фиолетовой ($\lambda_{red} > \lambda_{purp}$) рис.3. Для малых углов дифракции угловое расстояние между порядками $\varphi_{m+1} - \varphi \approx \lambda/d$ пропорционально длине волны, поэтому фиолетовые линии следуют чаще чем красные. При $m = 5$ для красной и $m = 6$ для фиолетовой они совпадут. Некоторые формулы:

- Разрешающая способность характеризует возможность прибора различать две близкие спектральные линии с длинами волн λ и $\lambda + \delta\lambda$.

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} \quad (2)$$

- Угловая дисперсия - производная зависимости угла отклонения $\varphi(\lambda)$ волны диспергирующим элементом по λ . По величине угловой дисперсии можно определить угловое расстояние между двумя близкими спектральными линиями: $\delta\varphi \approx D\delta\lambda$:

$$D = \frac{d\varphi}{d\lambda} = \frac{m}{d \cdot \cos \varphi_m} = \frac{m}{\sqrt{d^2 - m^2 \lambda^2}} \quad (3)$$

- Угловое расстояние между линиями определяется:

$$\Delta\varphi \approx D\delta\lambda \quad (4)$$

- Полуширина линии:

$$\delta\varphi = \frac{\lambda}{Nd \cos \varphi_m} \quad (5)$$

- Дисперсионная область – предельная ширина 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.

2 Ход работы

1. Настроим гониометр
2. Установим решетку, откалибруем наклон столика.

- Подберем ширину входной щели так, чтобы ширина желтого дуплета была чуть больше промежутка между линиями двойного штриха окуляра.
- Измерим угловые координаты спектральных линий ртути в ± 1 порядке и занесем в таблицу 1

Цвет	Угол	Длина волны, λ ,	Порядок
Синий	192 ° 33'	435.80	1
Зеленый	194 ° 10'	546.07	1
Желтый	196 ° 41'	576.96	1
Красный	197 ° 35'	623.40	1
Синий	167 ° 24'	435.80	-1
Зеленый	164 ° 09'	546.07	-1
Желтый	163 ° 12'	576.96	-1
Красный	161 ° 50'	623.40	-1

Таблица 1:

- Построим зависимость $\sin \varphi_m$ от длины волны:

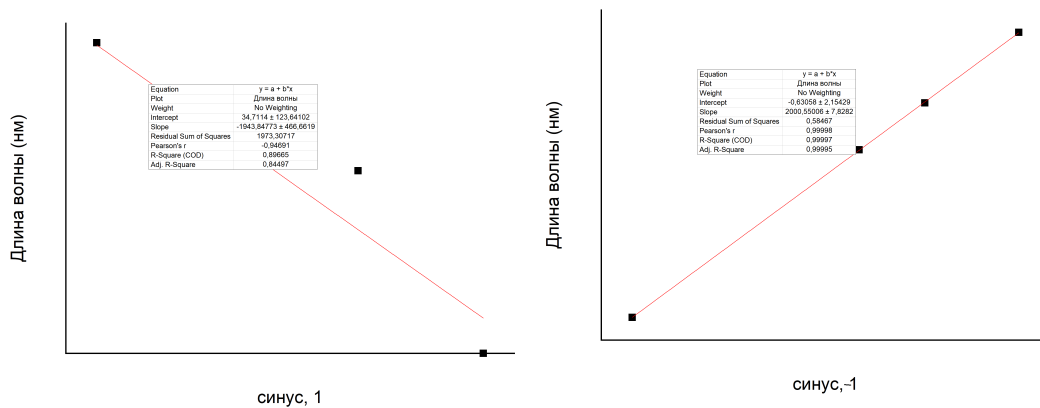


Рис. 4: Зависимость $\lambda(\sin \varphi_m)$

- Найдем период дифракционной решетки с помощью формулы $d \sin \varphi_m = m\lambda$ и МНК: $d = 1,98 \pm 0,35 \mu\text{м}$
- Для оценки угловой дисперсии решетки измерим угловые координаты линий желтого дуплета на всех видимых порядках, результат занесем в таблицу 2.

Порядок	-1	-1	1	1	2	2	-2	-2
λ, nm	576.96	579.09	576.96	579.07	579.96	576.09	576.96	579.07
$\Delta\lambda, nm$	-2.13		-2.11		-2.13		-2.11	
$\varphi_m, ^\circ$	196.68	196.75	163.17	163.24	144.60	144.64	215.09	215.15
$\Delta\varphi_m, ^\circ$	-0.0641		-0.066		-0.036		-0.036	
D, рад/мкм	0,31635	0,31645-	0,31658	-0,31647	-0,74348	-0,74314	0,74076	0,74109

Таблица 2:

- Рассчитаем по линиям желтого дуплета угловую дисперсию в спектрах разного порядка по формуле $D(\lambda) = \frac{d\varphi}{d\lambda}$, результат занесем в таблицу 2. Построим график зависимости угловой дисперсии от порядка спектра и сравним с рассчитанной по формуле $D = \frac{d\varphi}{d\lambda} = \frac{m}{d \cdot \cos \varphi_m} = \frac{m}{\sqrt{d^2 - m^2 \lambda^2}}$.

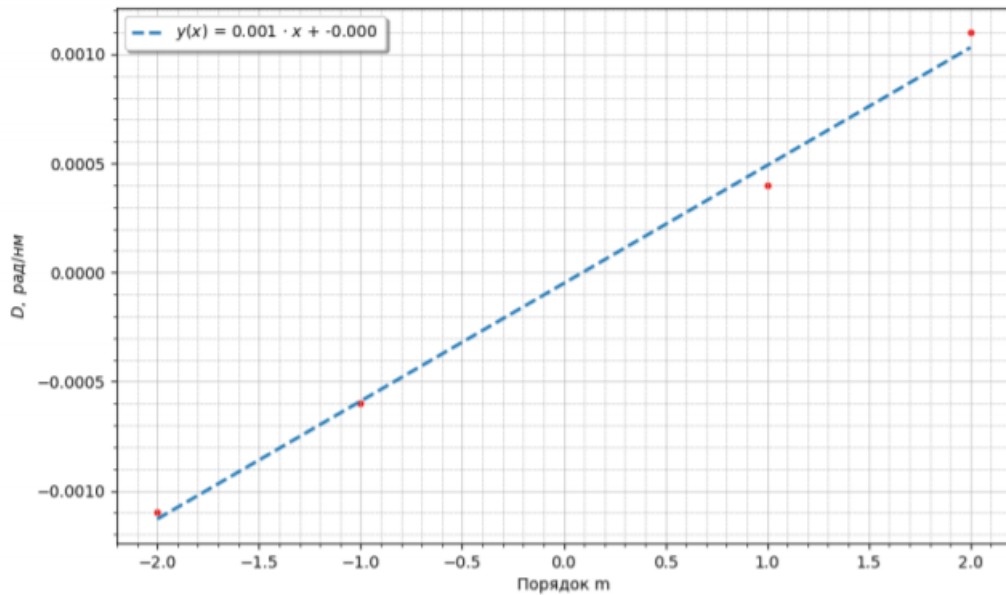


Рис. 5: Зависимость угловой дисперсии от порядка

9. Оценим разрешимый спектральный интервал $\delta\lambda$, результат занесем в таблицу 2. По формуле $\Delta\varphi \approx D\delta\lambda = \frac{m}{d \cos \varphi_m} \delta\lambda$ определим угловую ширину желтой линии.
10. По формуле $R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = 978 \pm 163$ оценим разрешающую способность для средней длины волны.
11. По формуле $R = Nm$ определим число эффективно работающих штрихов $N = 488 \pm 81$.
12. Рассчитаем порядок спектра при котором фиолетовая линия накладывается на желтую. $m_{\text{фиол}}/m_{\text{желт}} \approx 6/5$.
- 13.

3 Вывод

В работе проведена настройка гониометра, исследован спектр ртутной лампы, определен период и спектральные характеристики решетки: угловая дисперсия, разрешающая способность.