

Амплитудная дифракционная решетка.

Батарин Егор

7 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. 1. 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 ∞ .

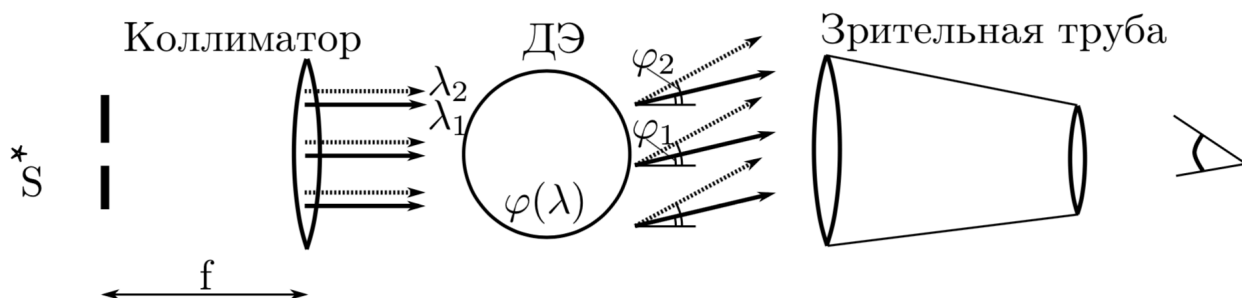


Рис. 1: Схема прибора: источник-коллиматор – диспергирующий элемент – зрительная труба

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 измеряемому 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 одинакова. Интенсивность дифрагированного света максимальная для углов φ_m , при которых волны, приходящие в точку наблюдения оказываются в фазе:

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

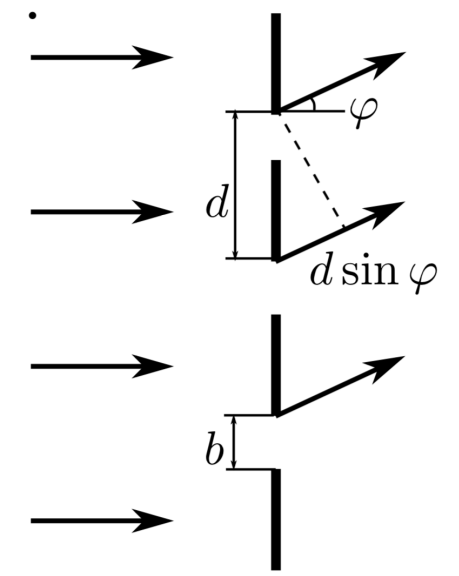


Рис. 2: Дифракция световой волны на амплитудной решетке

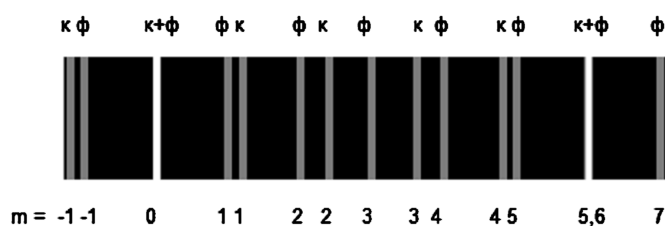


Рис. 3: Изображение спектра двух линий

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.

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

Цвет	Угол	Длина волны, λ ,	Порядок
Фиолетовый	192 ° 33'	404.66	1
Зеленый	194 ° 10'	546.07	1
Желтый	196 ° 41'	576.96	1
Красный	197 ° 35'	690.72	1
Фиолетовый	167 ° 24'	404.66	-1
Зеленый	164 ° 09'	546.07	-1
Желтый	163 ° 12'	576.96	-1
Красный	161 ° 50'	690.72	-1

Таблица 1:

5. Построим зависимость $\sin \varphi_m$ от длины волны:
6. 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:

7. 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 $D = \frac{d\varphi}{d\lambda} = \frac{m}{d \cdot \cos \varphi_m} = \frac{m}{\sqrt{d^2 - m^2 \lambda^2}}$.
8. 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.
9. По формуле $R = \frac{\delta\lambda}{\lambda} = 272.16$ оценим разрешающую способность для средней длины волны.
10. По формуле $R = Nm$ определим число эффективно работающих штрихов $N = 136$.
11. Рассчитаем порядок спектра при котором фиолетовая линия накладывается на желтую. $m_{\text{фиол}}/m_{\text{желт}} \approx 7/5$.

3 Вывод

В работе проведена настройка гониометра, исследован спектр ртутной лампы, определен период и спектральные характеристики решетки.