

Лабораторная работа 4.4.1

Изучение дифракционной решетки с помощью гониометра

Татаурова Юлия Романовна

28 февраля 2025 г.

Аннотация

В работе мы исследовали спектр ртутной лампы и определили спектральные характеристики дифракционной решетки.

Цель работы

Знакомство с работой и настройкой гониометра Г5, определение спектральных характеристик амплитудной решётки.

Оборудование и инструментальные погрешности

Оборудование: гониометр, дифракционная решётка, ртутная лампа.

Технические характеристики Г5:

Предел разрешения автоколлиматора: 30"

Предельная погрешность при измерении угла: 5"

Цена деления шкалы оптического микрометра: 1"

Число штрихов, приходящихся на мм решетки $N = 500$ штр/мм

Экспериментальная установка

Внешний вид гониометра представлен на 1. Коллиматор 3, столик 7 и алидада 17 со зрительной трубой 12 крепится на массивном основании 23. На столике 7 размещаются исследуемые объекты. Коллиматор закреплён неподвижно, а столик и алидада с трубой могут вращаться вокруг вертикальной оси. Ширину коллиматорной щели можно менять от 0 до 2-х мм при помощи микрометрического винта 2, высоту - от 0 до 20 мм - при помощи диафрагмы

с треугольным вырезом, надетой на щель. Винт 4 служит для настройки коллиматора на параллельный пучок. Зрительная труба 12 состоит из объектива 9 и окуляра 14 с автоколлимационным устройством 13. Фокусировка трубы производится винтом 11. Наклон коллиматора и зрительной трубы к горизонтально оси изменяется винтами 6 и 10 соответственно.

Гониметр требует тщательной юстировки: настройки а) зрительной трубы на бесконечность; б) поверхности столика и оптической оси трубы - перпендикулярно оси вращения прибора; в) коллиматора - на параллельный пучок лучей; г) оптической оси коллиматора - перпендикулярно оси вращения прибора.

Теоретические сведения

Амплитудную решётку можно представить в виде непрозрачного экрана, в котором прорезано большое число N параллельных щелей — штрихов. Постоянство расстояний между штрихами d и шириной штриха b должно выдерживаться с большой точностью. Интенсивность дифрагированного света максимальна для углов φ_m , при которых волны, приходящие в точку наблюдения от всех щелей, оказываются в фазе:

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

где $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ - порядок спектра.

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

Разрешающая способность

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

Характеризует возможность прибора различать две близкие спектральные линии с длинами волн λ и $\lambda + \delta\lambda$.

Угловая дисперсия

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

По величине угловой дисперсии можно определить угловое расстояния между двумя близкими спектральными линиями.

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.

Определим угловое расстояние между максимумом линии и её первым нулем — полуширину линии $\delta\varphi$. Пусть на решётку, состоящую из N штрихов, падает параллельный пучок света перпендикулярно её поверхности. Если $N = 2$, то две волны погасят друг друга, если между ними возникнет разность хода $\lambda/2$, если $N = 3$, то $\lambda/3$. В общем случае N штрихов для полуширины линии $\delta\varphi$ получаем уравнение, решение которого совмест- но с уравнением

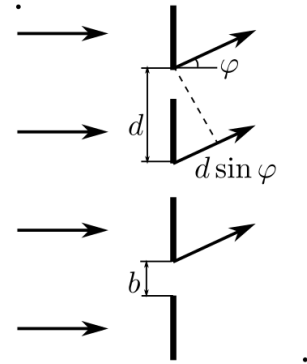
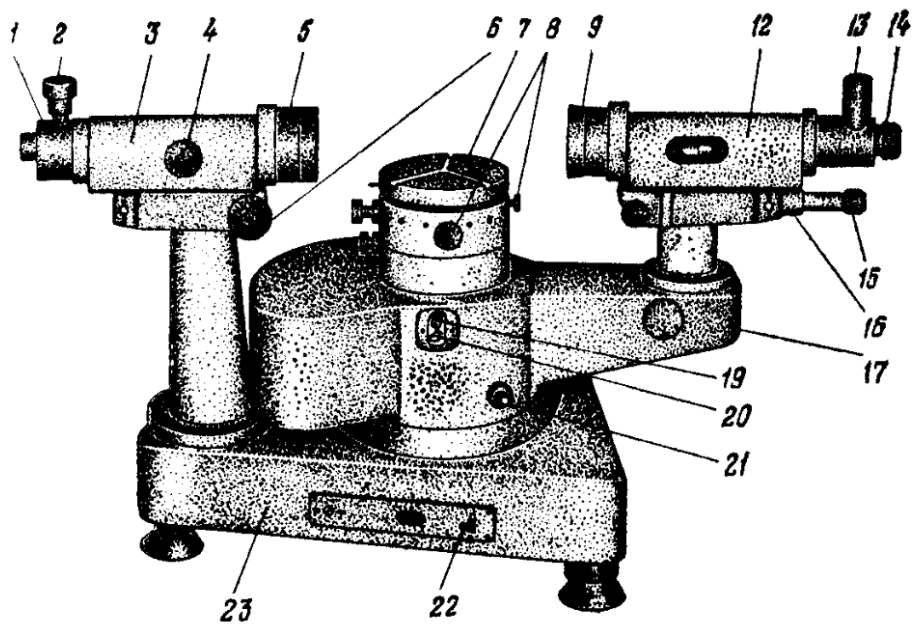
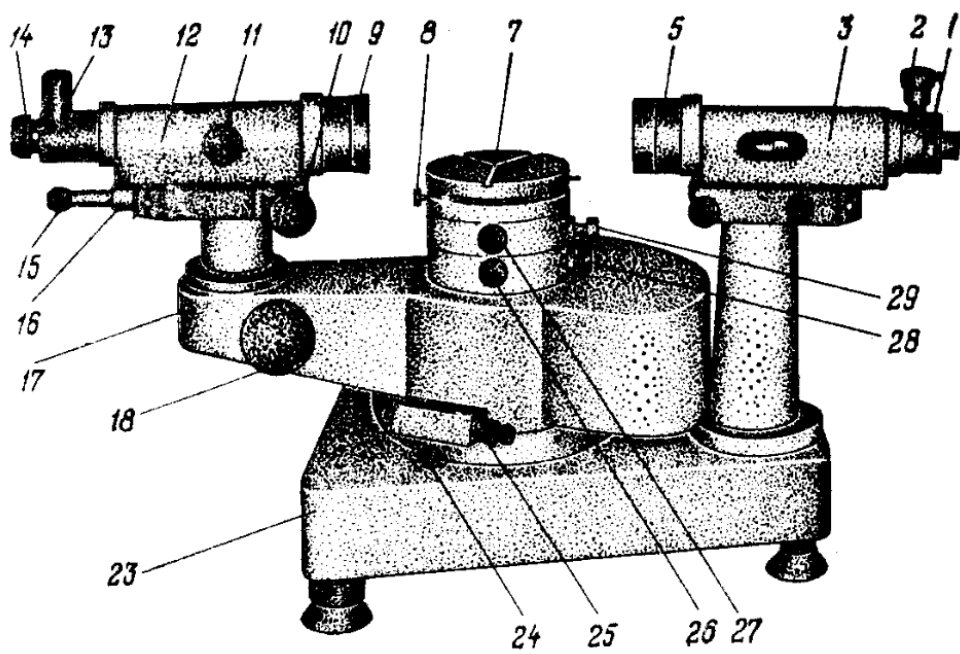


Рис. 2: Дифракция световой волны на дифракционной решетке



(а) Вид слева



(б) Вид справа

Рис. 1: Внешний вид гониометра Г5

1 $\delta\varphi \ll 1$ при имеет вид:

$$d \sin(\varphi_m + \delta\varphi) = m\lambda + \frac{\lambda}{N} \quad (4)$$

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

Тогда с учетом 3 угловое расстояние между двумя линиями определяется как:

$$\Delta\varphi \approx D\delta\lambda = \frac{m}{d \cos \varphi_m} \delta\lambda \quad (6)$$

Для сравнения между собой различных спектральных приборов Релей предложил приравнять полуширину $\delta\varphi$ и расстояние между линиями $\Delta\varphi$. Критерий Релея удобен для различных оценок. Согласно ему для дифракционных решёток разрешающая способность определяется порядком спектра и числом штрихов:

$$R = Nm \quad (7)$$

Результаты измерений и обработка данных

Цвет	φ_1	φ_{-1}	Длина волны λ , нм (эксп)	Длина волны λ , нм (теор)
K1	162°10'58"	197°50'58"	611.96	611.9
K2	162°50'58"	198°10'58"	623.03	623.0
Ж1	163°20'58"	196°40'58"	573.06	577.0
Ж2	163°10'58"	196°50'58"	578.64	579.1
Г	165°50'58"	194°10'58"	488.94	491.6
С	167°30'58"	192°30'58"	432.33	435.8
Ф	168°20'58"	191°40'58"	403.88	404.7

Таблица 1: Угловые координаты спектральных линий ртути в первом порядке

$$\sigma_\lambda = \sigma_\varphi \cos \varphi \cdot d \approx 0.05 \text{ нм}$$

По графику и опираясь на формулу 1 определим период решетки $d = 1984.8 \pm 0.2$ нм; $\sigma_d = \sigma_\varphi \cdot \lambda \frac{\cos \varphi}{\sin^2 \varphi} = 0.2$ нм. Или в количествах штрихов на мм ≈ 5004 .

Угловая дисперсия рассчитывается по формуле 3:

$$D = \frac{k}{\cos \varphi},$$

где k - тангенс угла наклона графика 3

$$\sigma_D = \sqrt{\left(\frac{\sigma_k}{\cos \varphi}\right)^2 + \left(k \frac{\sin \varphi}{\cos^2 \varphi}\right)^2}$$

Порядок m	-2	-1	1	2
Угол	235°30'58"	196°50'58"	163°10'58"	124°40'58"
D , сек/ангстр	17.8 ± 0.8	10.5 ± 0.5	10.5 ± 0.5	17.7 ± 0.8

Таблица 2: Угловые координаты и угловая дисперсия желтого спектра в разных порядках

Для качественного определения аппаратной разрешающей способности R оценим на глаз, во сколько раз расстояние между центрами желтых линий больше полуширины одной линии:

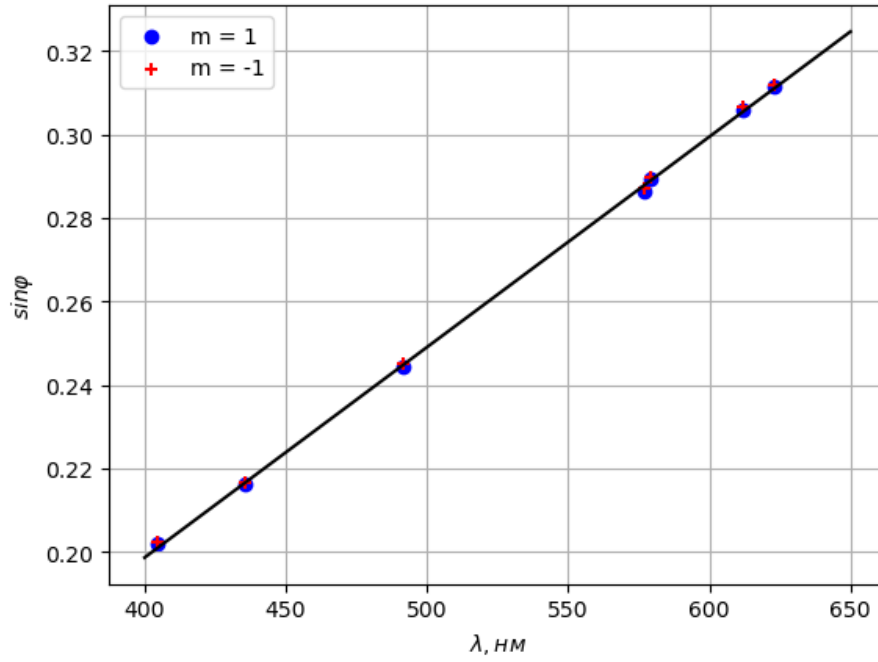


Рис. 3: Зависимость синуса угла спектральных линий в ± 1 порядках от длины волны

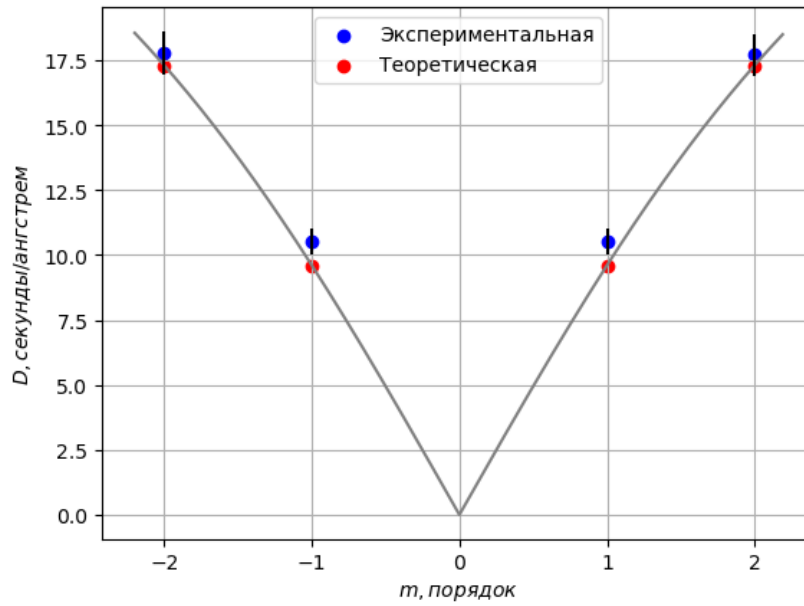


Рис. 4: Зависимость угловой дисперсии желтого спектра от его порядка

$R \approx 12$. Тогда погрешность измерения периода решетки нужно увеличить в 10. Исходя из этого вычисленное количество штрихов на мм составляет 5004 ± 1 .

Разрешающую способность можно оценить как $R = \frac{\lambda_y}{\delta \lambda_y} = \frac{\lambda_y}{dsin\delta\varphi_y} \approx 1990$, где $\delta\varphi_y$ - возьмем как предел разрешения автоколлиматора. С учетом этого число эффективно работающих штрихов решетки и ее эффективный размер:

$$N = \frac{R}{m} = 1990 \quad (8)$$

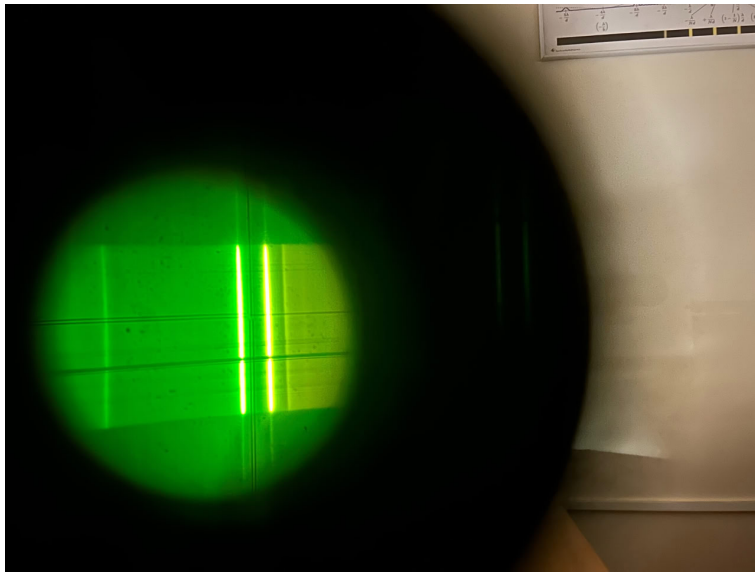


Рис. 5: Определение разрешающей способности для желтого дублета

$$l = Nd \approx 4 \text{ мм} \quad (9)$$

Определим при каких порядках спектра, при котором фиолетовая линия наложится на желтую. $m_y \lambda_y = m_p \lambda_p$. Отсюда получаем $m_y = 5, m_p = 7$.

Вывод

Определили период и спектральные характеристики дифракционной решетки. Вычисленный период решетки: $d = 1984.8 \pm 0.2 \text{ нм}$, что близко к данному (2000 нм).

Была получена зависимость угловой дисперсии от порядка желтого спектра и так же близка к теоретической (4).

Определить разрешающую способность точно не удалось, а измерение "на глаз" не дало адекватных результатов. Вычисленная по фотографии разрешающая способность решетки получилась порядка 10 усл.ед, в то время как ее значение обычно порядка 10^3 усл.ед.