

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Лабораторная работа № 4.4.1

Амплитудная диффракционная решетка (гониометр)

Житников Андрей
Комкин Михаил
Группа Б01-303

Долгопрудный, 2025 г.

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

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

1 Теоретическая справка

Основное соотношение приближенной теории дифракционной решётки:

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

Угловая дисперсия D характеризует угловое расстояние между близкими спектральными линиями:

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

Рассмотрим изображения спектра для двух узких спектральных линий с длинами волн λ и $\lambda + \delta\lambda$. Для минимального значения $\lambda + \delta\lambda$, которое может быть определено по результатам измерений, вводят важнейшую характеристику спектрального прибора — разрешающую способность:

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda}. \quad (3)$$

2 Экспериментальная установка

2.1 Устройство гониометра

Гониометр служит для точного измерения углов и находит широкое применение в оптических лабораториях. С помощью гониометра можно определять показатели преломления и преломляющие углы призм и кристаллов, исследовать параметры дифракционных решёток, измерять длины волн спектральных линий и т. Д.

Оптическая схема гониометра представлена на рис. 1а. Свет от источника S проходит через коллиматор (устройство, дающее параллельный пучок, состоящее из щели 1 и объектива 5) и преобразуется призмой или решёткой в набор параллельных пучков, каждый из которых соответствует определённой длине волны. Параллельные пучки со-

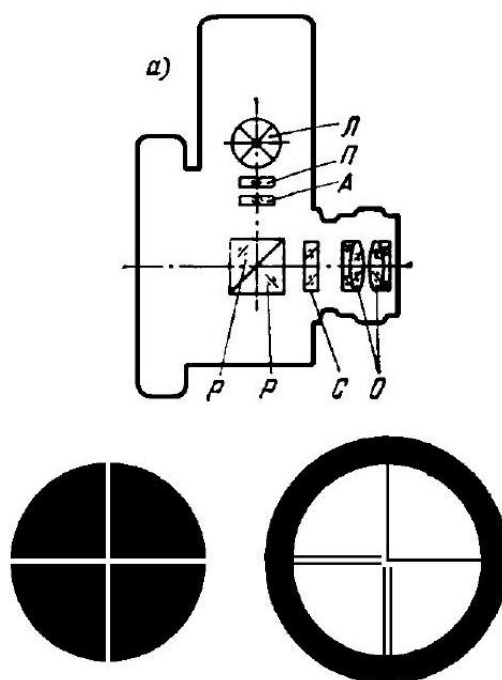


Рис. 2: Автоколлимационное устройство

бираются в фокальной плоскости объектива 9 зрительной трубы и рассматриваются глазом через окуляр 14. При освещении щели ртутной лампой, дающей дискретный спектр, в фокальной плоскости видны отдельные линии - цветные изображения входной щели (см. рис. 4 и таблицу 1).

Внешний вид гониометра представлен на рис. 16 и 1в. Коллиматор 3, столик 7 и алидада 17 со зрительной трубой 12 крепятся на массивном основании 23. На столике 7 размещаются исследуемые объекты. Коллиматор закреплён неподвижно, а столик и алидада с трубой могут вращаться вокруг вертикальной оси.

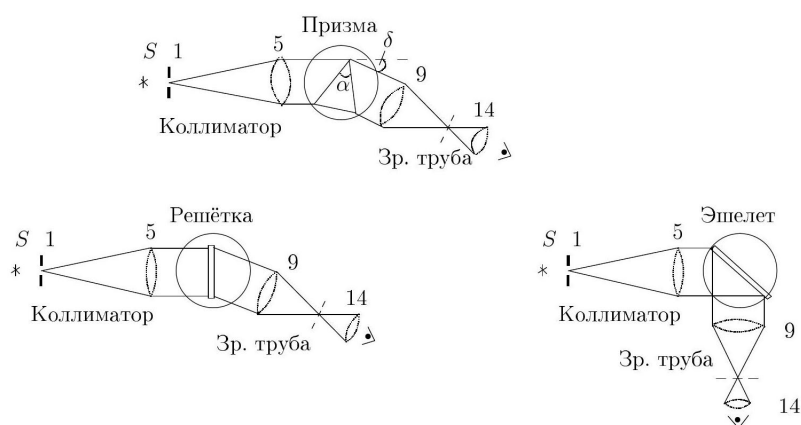
Ширину коллиматорной щели можно менять от 0 до 2-х мм при помощи микрометрического винта 2, высоту - от 0 до 2-х см - при помощи диафрагмы с треугольным вырезом («ласточкин хвост»), надетой на щель. Винт 4 служит для перемещения объектива 5 - настройки коллиматора на параллельный пучок.

Зрительная труба 12 состоит из объектива 9 и окуляра 14 с автоколлимационным устройством 13. Объективы коллиматора и зрительной трубы одинаковы. Фокусировка трубы производится винтом 11. Наклон коллиматора и зрительной трубы к горизонтальной оси изменяется винтами 6 и 10 соответственно.

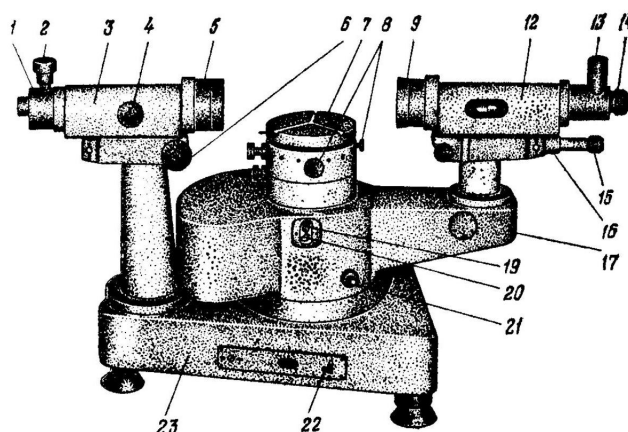
Схема окуляра О зрительной трубы с автоколлимационным устройством приведена на рис. 2а. Свет от лампы Л проходит через защитную стеклянную пластинку П и попадает на автоколлимационную сетку А, содержащую две взаимно перпендикулярные щели. Свет, прошедший через сетку А (светящийся крест - рис. 2б), попадает на две прямоугольные призмы Р и отражается от гипотенузной грани, на которую нанесён полупрозрачный слой с коэффициентом отражения 50%.

Для юстировки гониометра на столик ставится предмет с плоской отражающей поверхностью. После отражения от неё

А)



Б)



В)

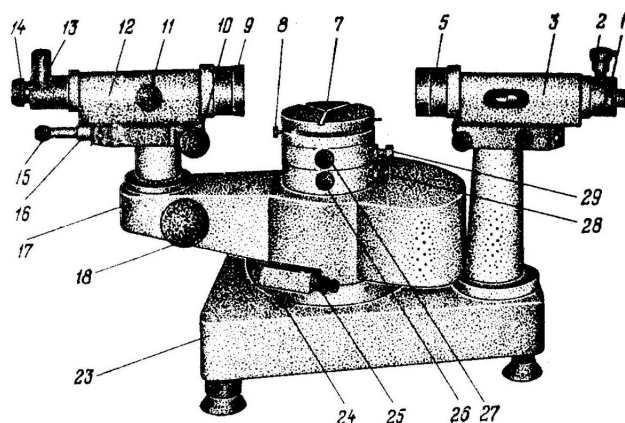


Рис. 1. Оптическая схема и внешний вид гониометра

параллельный пучок лучей возвращается назад в зрительную трубу и собирается в фокальной плоскости объектива. В этом случае светящийся автоколлимационный крест можно увидеть через окуляр зрительной трубы. Кроме того, в окуляре имеется ещё одна сетка С, на которой изображён чёрный отсчётный крест (рис. 2в). Совмещённые изображения обоих крестов рассматриваются через окулярные линзы О. Резкость видимого изображения отсчётного креста регулируется вращением оправы окуляра трубы.

Обе сетки окуляра, А и С (рис. 2а), расположены на строго одинаковых расстояниях от гипотенузных граней призмы Р, поэтому их одновременное наблюдение в

окуляре возможно только при совпадении фокальных плоскостей объектива и окуляра (труба настроена на бесконечность).

Важнейшим узлом гониометра является устройство, служащее для отсчёта угла поворота зрительной трубы вокруг вертикальной оси, проходящей через центр столика. На этой оси крепится прозрачное кольцо (лимб), расположенное в корпусе прибора. На поверхности лимба нанесена шкала с делениями. Лимб разделён на $3 \times 360 = 1080$ делений. Цена деления $20'$, оцифровка делений произведена через 1° . Шкалу лимба можно наблюдать через окуляр отсчётного устройства 16 при включённой подсветке (тумблер 22). Резкость изображения шкалы регулируется вращением оправы окуляра 15.

Оптическая система отсчётного устройства собрана так, что через окуляр можно наблюдать изображения штрихов двух диаметрально противоположных участков лимба, причём одно изображение прямое, а другое обратное (рис. 3). Кроме того, оптическая система позволяет перемещать эти изображения друг относительно друга, оставляя в покое как лимб, так и алидаду со зрительной трубой. Это перемещение штрихов измеряется при помощи оптического микрометра. Шкала микрометра рассчитана таким образом, что при перемещении её на 600 делений верхнее изображение штрихов лимба смещается относительно нижнего на $10'$. Следовательно, цена деления шкалы микрометра $1''$.

Поле зрения отсчётного микроскопа приведено на рис. 3. В левом окне наблюдаются изображения диаметрально противоположных участков лимба и вертикальный штрих для отсчёта градусов, в правом - деления шкалы оптического микрометра и горизонтальная риска R для отсчёта минут и секунд.

Для удобства экспериментатора в гониометре предусмотрено несколько вариантов относительного вращения столика, алидады со зрительной трубой и лимба. Отсчётное устройство гониометра обеспечивает точность измерения угла не хуже $5''$.

2.2 Ртутная лампа

Характеристики спектра ртутной лампы ДРШ приведена в таблице

№	K ₁	K ₂	1	2	3	4	5	6
λ нм.	690,7	623,4	579,1	577,0	546,1	491,6	435,8	404,7
Цвет	красн.	красн.	желт.	желт.	зелен.	голуб.	синий	фиолет.
Яркость	4	4	10	8	10	4	4	3

3 Ход работы

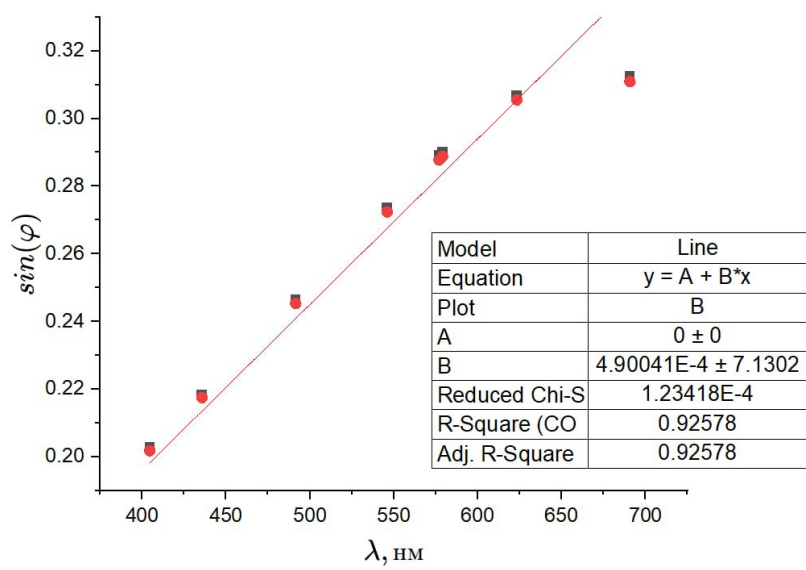
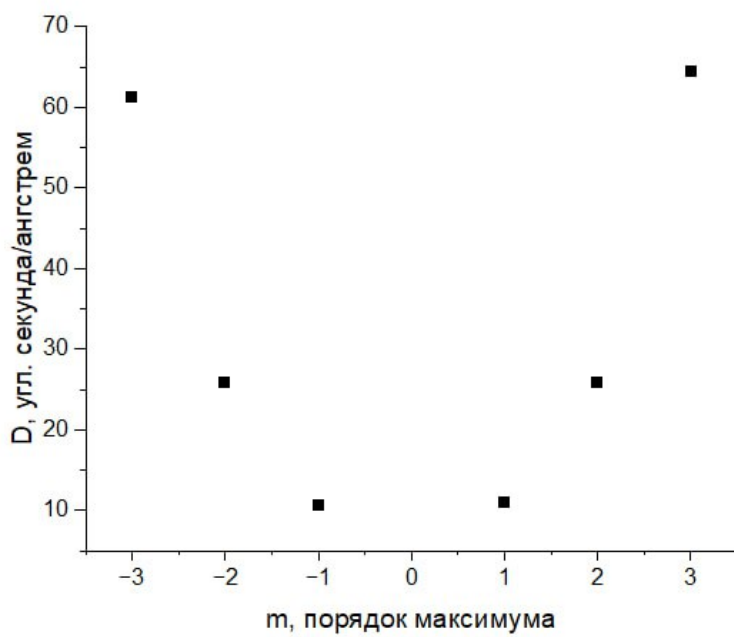
Сначала были измерены углы для максимумов линий спектра ртутной лампы порядков ± 1 . Полученные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1: Углы линий спектра ртути

№ линии	φ_{+1}	φ_{-1}
6	$11^\circ 41' 57''$	$11^\circ 38' 29''$
5	$12^\circ 36' 34''$	$12^\circ 33' 37''$
4	$14^\circ 15' 39''$	$14^\circ 11' 58''$
3	$15^\circ 52' 33''$	$15^\circ 48' 17''$
2	$16^\circ 48' 4''$	$16^\circ 43' 18''$
1	$16^\circ 51' 56''$	$16^\circ 47' 1''$

Таблица 2: Углы жёлтых линий

m	φ_2	φ_1
1	$16^{\circ}48'4''$	$16^{\circ}51'56''$
-1	$16^{\circ}43'18''$	$16^{\circ}47'1''$
2	$35^{\circ}24'15''$	$35^{\circ}33'12''$
-2	$35^{\circ}3'45''$	$35^{\circ}12'46''$
3	$60^{\circ}41'58''$	$61^{\circ}4'30''$
-3	$59^{\circ}13'38''$	$59^{\circ}35'5''$



4 Обработка данных

По полученным данным в таблице был построен график на рис зависимости $\sin \varphi_m$ от длины волны. По коэффициенту наклона с использованием формулы (1) был найден период решётки $d = \frac{1}{k} = 2,04 \pm 0,05$ мкм.

Определим также разрешающую способность по формуле $R = \frac{\varphi}{\delta\varphi} \approx 670$, используя измеренную ширину первого порядка жёлтой линии $\delta\varphi = 90''$, то есть число рабочих штрихов решётки $N \approx 670$ и размер освещённой части $l = Nd \approx 1,3$ мм.

5 Вывод

В ходе выполнения лабораторной работы были изучены принципы работы гониометра Г5 и проведены измерения углов дифракции для спектральных линий ртутной лампы. На основе полученных данных была определена зависимость синуса угла дифракции от длины волны для первых порядков максимумов. По наклону графика этой зависимости был рассчитан период дифракционной решётки, который составил $d = \frac{1}{k} = 2,04 \pm 0,05$ мкм.

Результаты работы подтверждают справедливость основного соотношения дифракционной решётки $d \sin \varphi_m = m\lambda$. Погрешность измерений связана с точностью настройки гониометра и визуального определения положения максимумов. Таким образом, в ходе работы были успешно определены спектральные характеристики амплитудной дифракционной решётки, что подтверждает её применимость для анализа спектров и измерения длин волн.