

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)  
ФАКУЛЬТЕТ ОБЩЕЙ И ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ



Лабораторная работа № 4.4.1

Изучение амплитудной решётки

Пазов Тенгиз  
Симухин Егор  
Группа Б03-302

Долгопрудный, 2025г.

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

## 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:

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

## 2 Разрешающая способность

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

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

## 3 Экспериментальная установка

### 3.1 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. 2а. 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-

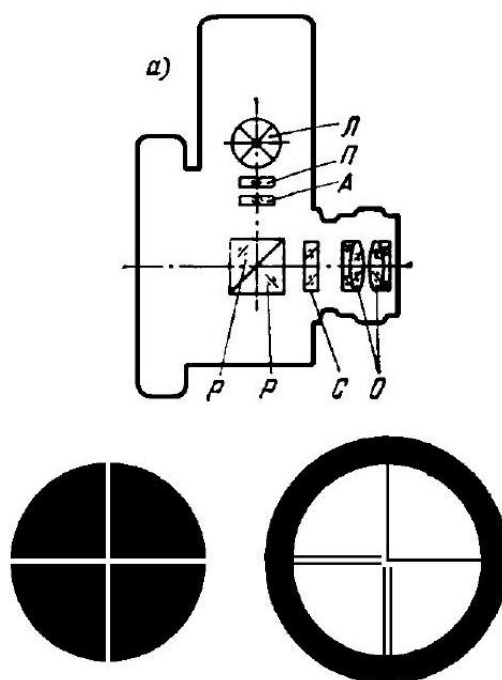


Рис. 1: Автоколлимационное устройство

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.

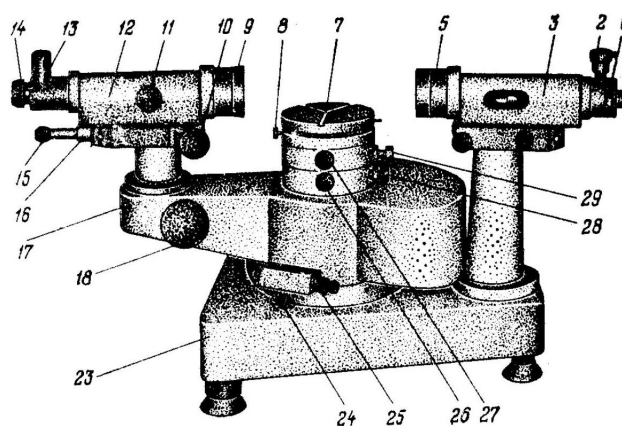
Ширину коллиматорной щели можно менять от 0 до 2-х мм при помощи микрометрического винта 2, высоту - от 0 до 2-х см - при помощи диафрагмы с треугольным вырезом («ласточкин хвост»), надетой на щель. Винт 4 служит для перемещения объектива 5 - настройки коллиматора на параллельный пучок.

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.

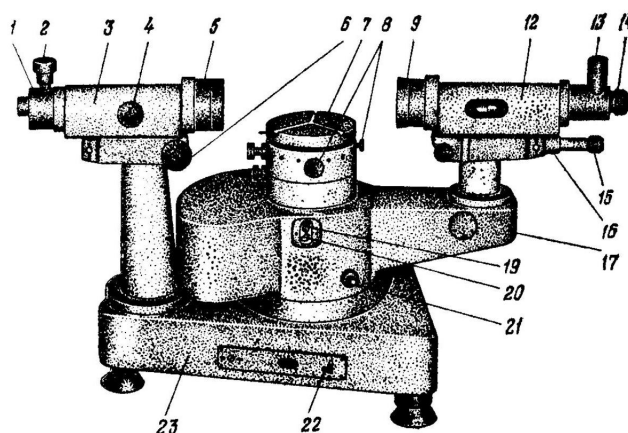
Схема окуляра О зрительной трубы с автоколлимационным устройством приведена на рис. 2а. Свет от лампы Л проходит через защитную стеклянную пластинку П и попадает на автоколлимационную сетку А, содержащую две взаимно перпендикулярные щели. Свет, прошедший через сетку А (светящийся крест - рис. 2б), попадает 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)

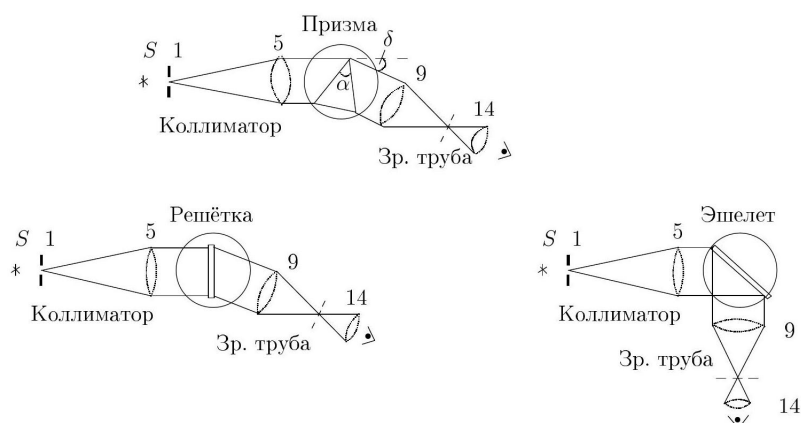


Рис. 2. Оптическая схема и внешний вид гониометра

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  $C$ , на которой изображён чёрный отсчётный крест (рис. 2в). Совмещённые изображения обоих крестов рассматриваются через окулярные линзы  $O$ . Резкость видимого изображения отсчётного креста регулируется вращением оправы окуляра трубы.

Обе сетки окуляра,  $A$  и  $C$  (рис. 2а), расположены на строго одинаковых расстояниях от гипотенузных граней призмы  $P$ , 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  $1^\circ$ . 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  $5''$ .

## 3.2 Ртутная лампа

В данной таблице приведем характеристики спектров ртутной лампы ДРШ.

| №             | 1     | 2     | 3      | 4      | 5     | 6       |
|---------------|-------|-------|--------|--------|-------|---------|
| $\lambda$ 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       |

## 4 Ход работы

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

Таблица 1: Углы линий спектра ртути

| № линии | $\varphi_{+1}$      |
|---------|---------------------|
| 6       | $11^\circ 35' 25''$ |
| 3       | $14^\circ 22' 28''$ |
| 2       | $16^\circ 27' 6''$  |
| 1       | $16^\circ 27' 56''$ |

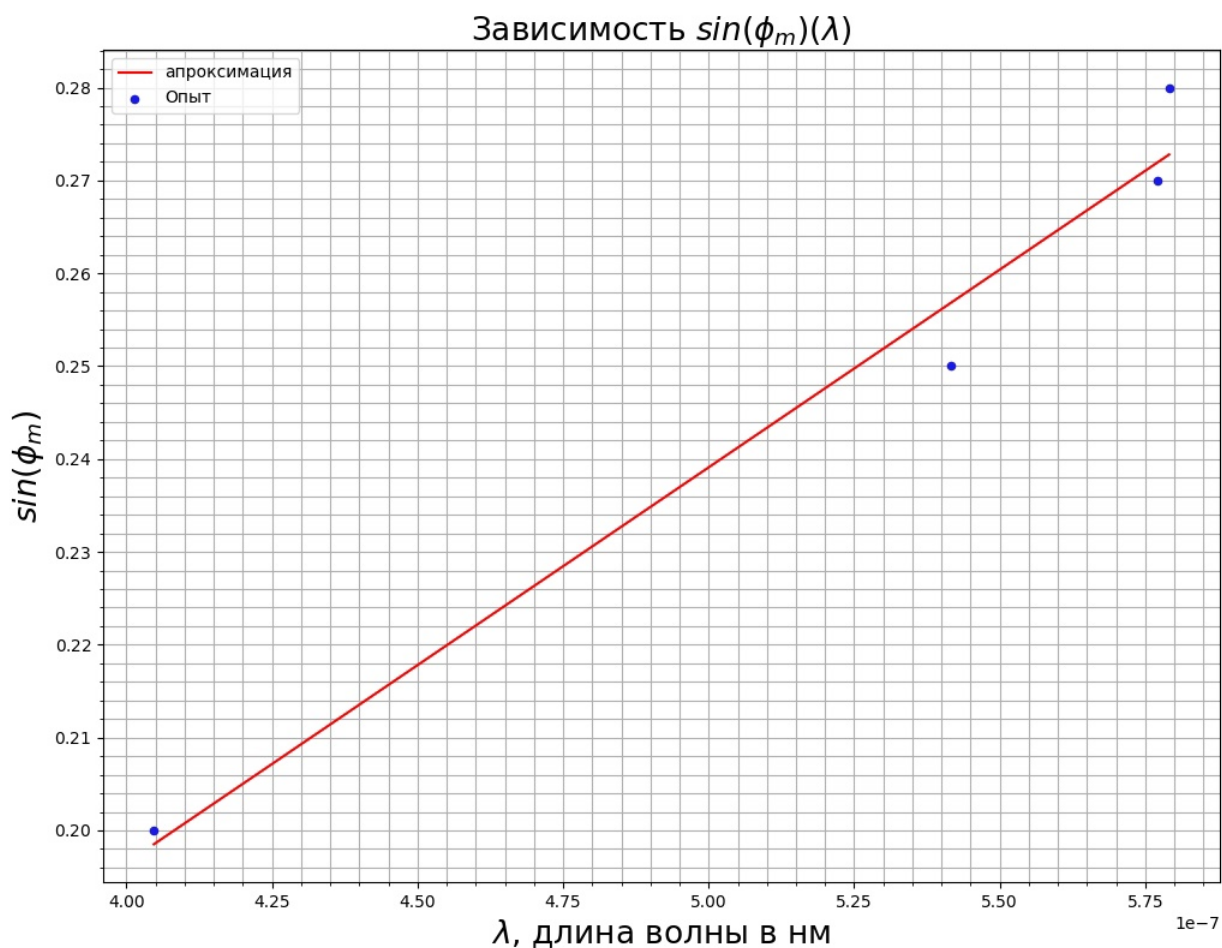
Далее, для оценки угловой дисперсии решётки были измерены угловые координаты линий жёлтого дублета для всех видимых порядков спектра, положительных и отрицательных. Погрешность нашего гониометра Г5 составляет  $5''$ .

Таблица 2:

| $m$ | $\Delta\varphi, ''$ | $D \text{ exp, } 10^{-5} \text{ рад}/\text{\AA}$ | $D \text{ teor, } 10^{-5} \text{ рад}/\text{\AA}$ |
|-----|---------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 1   | 250                 | $1,14 \pm 0,11$                                  | 5,22                                              |
| -1  | 239                 | $-5,46 \pm 0,11$                                 | -5,22                                             |
| 2   | 588                 | $13,4 \pm 0,11$                                  | 12,2                                              |
| -2  | 548                 | $-12,5 \pm 0,11$                                 | -12,2                                             |
| 3   | 1350                | $30,9 \pm 0,11$                                  | 29,9                                              |
| -3  | 1332                | $-30,4 \pm 0,11$                                 | -29,9                                             |

## 5 Обработка данных

Построим график зависимости синуса угла дифракции  $\sin(\phi_m)$  от длины волны. И по углу наклона данного графика определим шаг решётки  $d$ .

Рис. 3. Зависимость  $\sin\phi_m(\lambda)$ 

Из графика находим, что  $d = 2.35 \pm 0.20 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ .

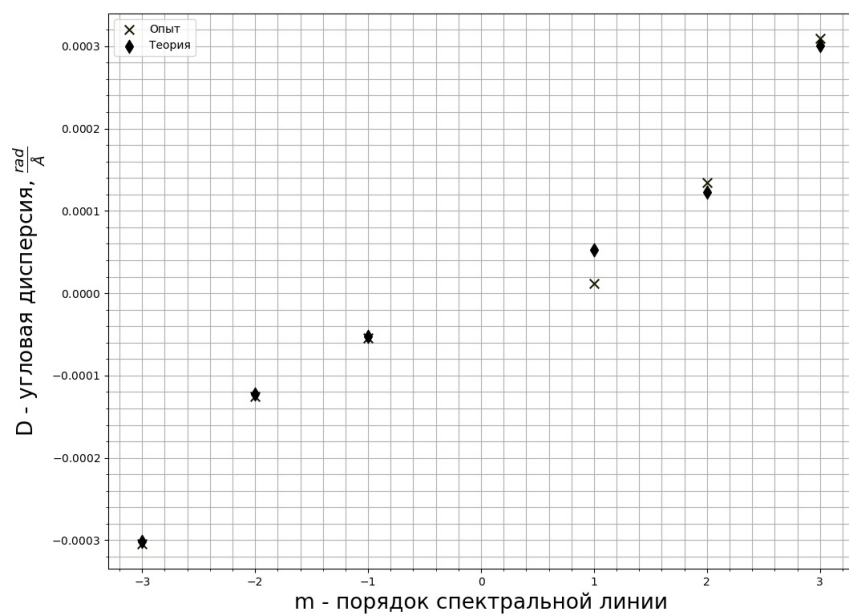


Рис. 4. Зависимость  $D(m)$ .

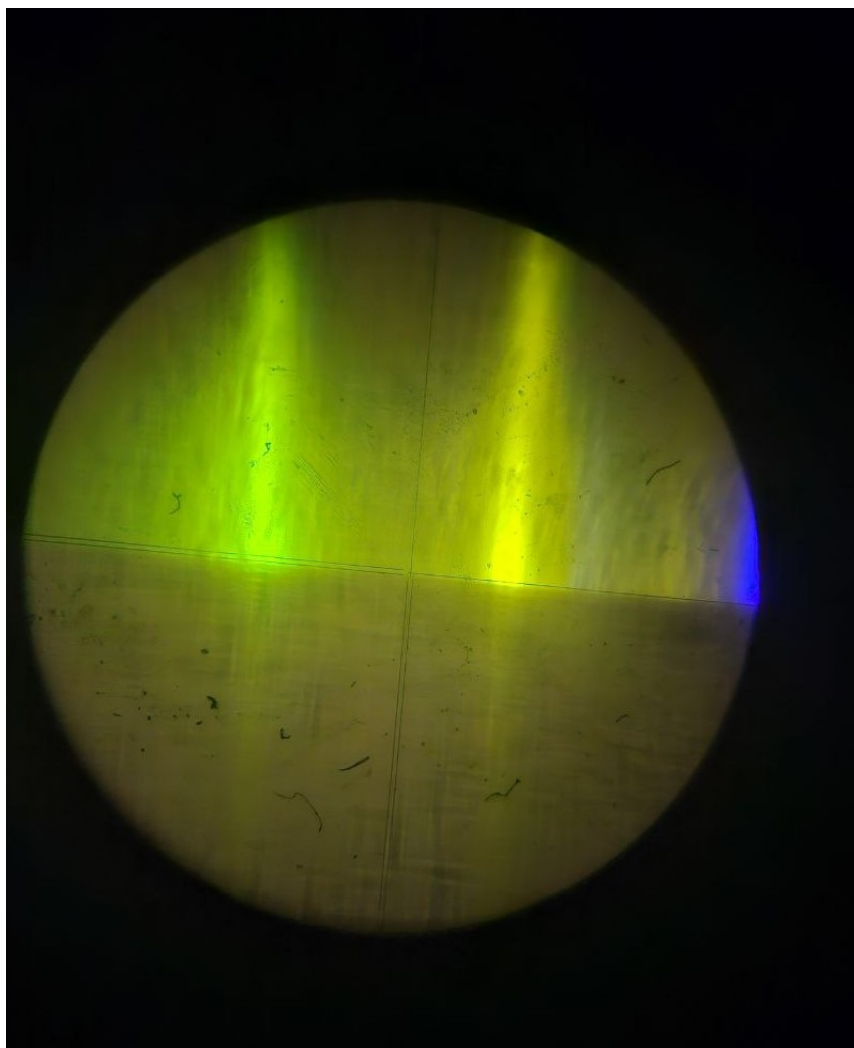


Рис. 4. Снимок спектров двух желтых линий

Наконец, на качественном уровне оценили разрешимый спектральный интервал  $\delta\lambda$  как отношение расстояния между центрами желтых линий к полуширине одной из линий:  $\delta\lambda = \frac{45}{2} = 22.5\text{Å}$ . Теперь рассчитаем разрешающую способность  $R$  и разрешимый спектральный интервал  $\delta\lambda$ , а также ее эффективный размер и число эффективно работающих штрихов решетки  $N$  (для 1 порядка желтой линии):

$$\delta\lambda \approx \frac{\Delta\phi}{D} = \frac{50''}{1.14 \cdot 10^{-5} \frac{\text{рад}}{\text{Å}}} \approx 21.23 \pm 3.66\text{Å} \quad (4)$$

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = \frac{5780.5}{21.23} \approx 272.27 \pm 46.94 \quad (5)$$

$$N = \frac{R}{m} = 272 \quad (6)$$

$$l = N \cdot d = 272 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \approx 0.54\text{мм} \quad (7)$$

Рассчитаем порядок спектра при котором фиолетовая линия наложится на желтую, для этого воспользуемся формулой:

$$m(\lambda + \Delta\lambda) = (m + 1)\lambda \quad (8)$$

Откуда получаем формулу для расчета  $m$ :

$$m = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = \frac{404.7}{577.0 - 404.7} \approx 2. \quad (9)$$

## 6 Вывод

В ходе данной лаб. работы была проведена юстировка гониометра для дальнейшего исследования спектра ртутной лампы. Спектр ртутной лампы наблюдался с помощью диспергирующего элемента (ДЭ) - амплитудной дифракционной решетки (500 штрихов/мм). Для +1 порядка были рассчитаны углы дифракции, а в силу известности длин волн компонент спектра (из характеристики ртутной лампы) был построен график  $\sin(\phi)(\lambda)$ . В силу формулы (1) а также из тангенса угла наклона прямой данного графика экспериментальным путем был рассчитан период ампл. дифф. решетки, который не совпал с аналогичной характеристикой, предъявленной производителем (но порядок совпал). Это может быть связано с ошибкой человеческого глаза при совмещении вертикали креста со спектральной линией. Далее был проведен экспериментальный расчет угловой дисперсии для желтой пары в спектрах разных порядков (рад/ангстрем). Экспериментальные данные и теоретические данные (формула 4.11) для спектров порядков, изменяющихся от -3 до 3 были представлены на одном графике (второй график,  $D(m)$ ). Теория практически совпала с практикой. По измерениям координат и угловой ширины желтой линии произвели вычисления, с помощью которых были найдены: разрешающая способность, число эффективно работающих штрихов и размер освещенной части решетки. Также только с помощью теоретических ихысканий был найден порядок спектра (2), при котором фиолетовая линия наложится на желтую (яркость 8).