

# Лабораторная работа 4.4.2 Фазовая дифракционная решётка

Иван Сладков

19 февраля 2022 г.

## 1 Аннотация

В данной работе проводится знакомство с работой и настройкой гониометра Г5, определение спектральных характеристик фазовой решётки (эшелетта) и исследование спектра ртутной лампы.

## 2 Теоретические сведения

В современных спектральных приборах широко используются отражательные решётки с треугольным профилем штриха (рис. 1), они способны концентрировать до 70–80% падающего излучения в рабочий порядок спектра. Отражательная решётка, в которой угол  $\Omega$  между рабочей гранью и плоскостью решётки не превышает  $20^\circ$ , называется эшелеттом. Для эшелетта, варьируя угол скоса и шаг решётки, получают рабочий порядок  $m_p \leq 10$ .

Найдём разность хода между лучами на рис. 1. Условие возникновения спектра порядка  $m$ :

$$AC - BD = d(\sin \varphi_m - \sin \psi) = m\lambda, \quad (1)$$

где  $\psi$  – угол падения от нормали к решётке,  $\varphi$  – угол дифракции. Для нулевого порядка  $\varphi_0 = \psi$ . В отличие от амплитудной решётки, нулевой порядок не будет самым ярким. Угол  $\varphi_6$  – угол блеска, соответствующий максимуму интенсивности света, равен углу зеркального отражения падающей волны от одной ступеньки:

$$\varphi_6 = \psi + 2\Omega.$$

Для эшелетта рабочим порядком спектра  $m_p$  будет то целое число, которое соответствует минимальной ошибке решения уравнения  $d \sin \varphi_m - \sin \psi = 0$ .

Считая, что эшелетт работает в автоколлимационном режиме, то есть свет падает перпендикулярно рабочей грани решётки ( $\psi = -\Omega$ ) и отражается в обратном направлении ( $\varphi = \Omega$ ), тогда

$$2d \sin \Omega = m_p \lambda_p. \quad (2)$$

В автоколлимационном режиме дифракция на одной ступеньке-зеркальце описывается так же, как и дифракция на отдельной щели амплитудной решётки с максимумом вблизи  $\varphi \approx 0$ . В отличие от амплитудной решётки, нумерацию порядков для амплитудной решётки, следует сместить на величину  $m_p$ .

### 2.1 Расчётные формулы

Основные формулы, используемые в работе: (1), (2). Вторая часть формулы (1) используется для определения периода  $d$  в МНК на графике рис. 2.

## 3 Оборудование и инструментальные погрешности

Гониометр:  $\Delta = \pm 1''$

Эшелетт:  $\lambda_p = 500 \text{ nm}$  в 1-м порядке.

Ртутная лампа

## 4 Результаты измерений и обработка данных

*Все измерения и расчёты в СИ.*

Линии спектра лампы были исследованы для угла  $\phi = 45^\circ$ . Результаты отображены в табл. 1.

По этим данным построим график на рис. 2. Отсюда

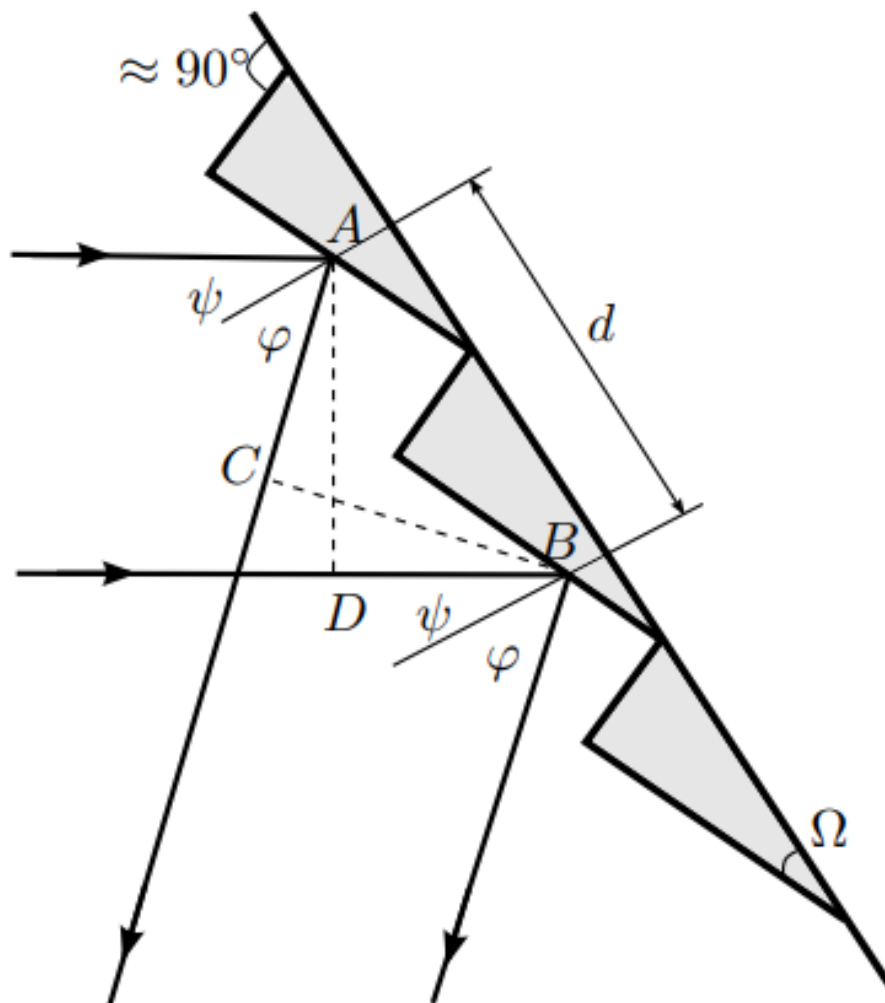
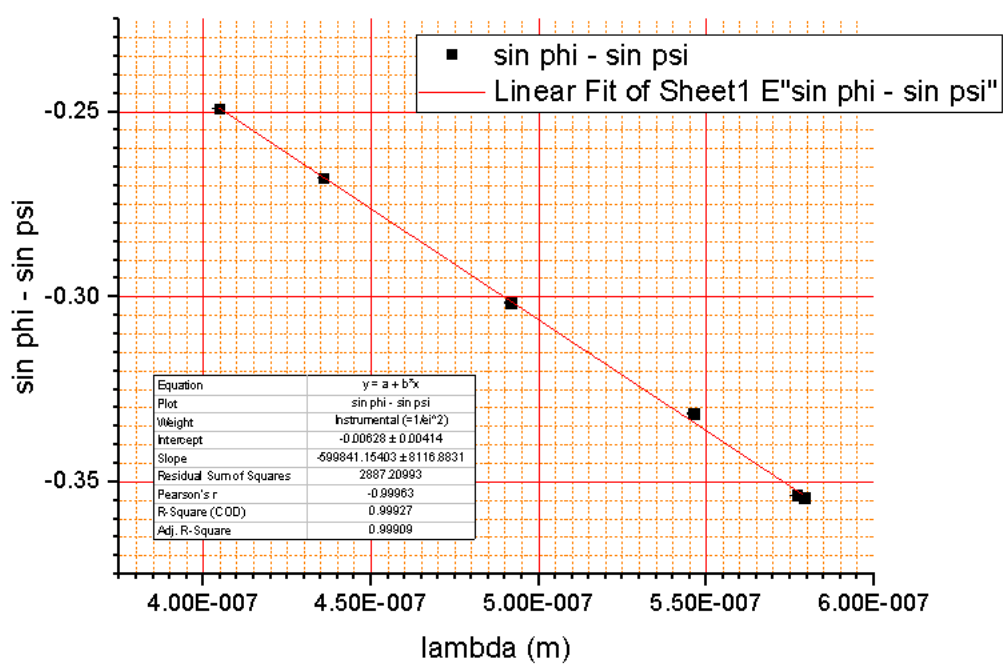


Рис. 1: Профиль фазовой дифракционной решётки; дифракция световой волны

Рис. 2: График  $\sin \varphi - \sin \psi$  от  $\lambda$

Цвет	$\sin \varphi - \sin \psi$	$\lambda$
Фиолетовый	-0.249	4047
Синий	-0.267	4358
Голубой	-0.301	4916
Зелёный	-0.331	5461
Жёлтый	-0.353	5770
Жёлтый	-0.354	5791

Таблица 1: Спектр ртути

$\varphi$	$ \Delta\varphi $	$\Delta\lambda, \text{Å}$	$\left \frac{d\varphi}{d\lambda}\right _{\text{эксп}}, (\text{угл. с.}/\text{Å})$	$\left \frac{d\varphi}{d\lambda}\right _{\text{теор}}, (\text{угл. с.}/\text{Å})$
30°	650 ± 10	21	31 ± 1	1.5 ± 0.05
30°	798 ± 10	21	38 ± 1	1.55 ± 0.05
45°	1286 ± 10	21	61 ± 1	2.5 ± 0.1
60°	1441 ± 10	21	68 ± 1	4.4 ± 0.2

Таблица 2: Угловая дисперсия при различных  $\varphi$ 

$$\frac{1}{d} = 599 \pm 8 \text{ штр/мм.}$$

$$d = 1.67 \pm 0.08 \text{ мкм/штр.}$$

Найдём угол скоса рабочей поверхности:  $m_p = 1$ ,  $\lambda_p = 500 \text{ нм}$ , тогда

$$\sin \Omega = \frac{m_p \lambda_p}{2d} = 0.150 \pm 0.005$$

$$\Omega = 8.61^\circ \pm 0.02^\circ.$$

Найдём угловую дисперсию при различных  $\psi$ . Результат в табл. 2. Удалось снять только по 1 порядку для  $\varphi = 45^\circ$  и  $\varphi = 60^\circ$ , и 2 порядка для  $\varphi = 30^\circ$ , так как для остальных  $m$ , характерные углы превышают максимально измеримые.

Построим график для угловой дисперсии при  $\varphi = 30^\circ$ .

#### 4.1 Оценка разрешающей способности

Найдём экспериментальную разрешающую способность системы при ширине щели 1.14 мм:

$$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda} = 274.7.$$

Тогда  $N = 275$  штрихов освещены. Так как коллиматор даёт параллельный пучок, то на 1 мм приходится  $n \approx 250$  штрихов. Оценка погрешности не имеет смысла, так как такой метод в принципе неточен и опирается на субъективную оценку.

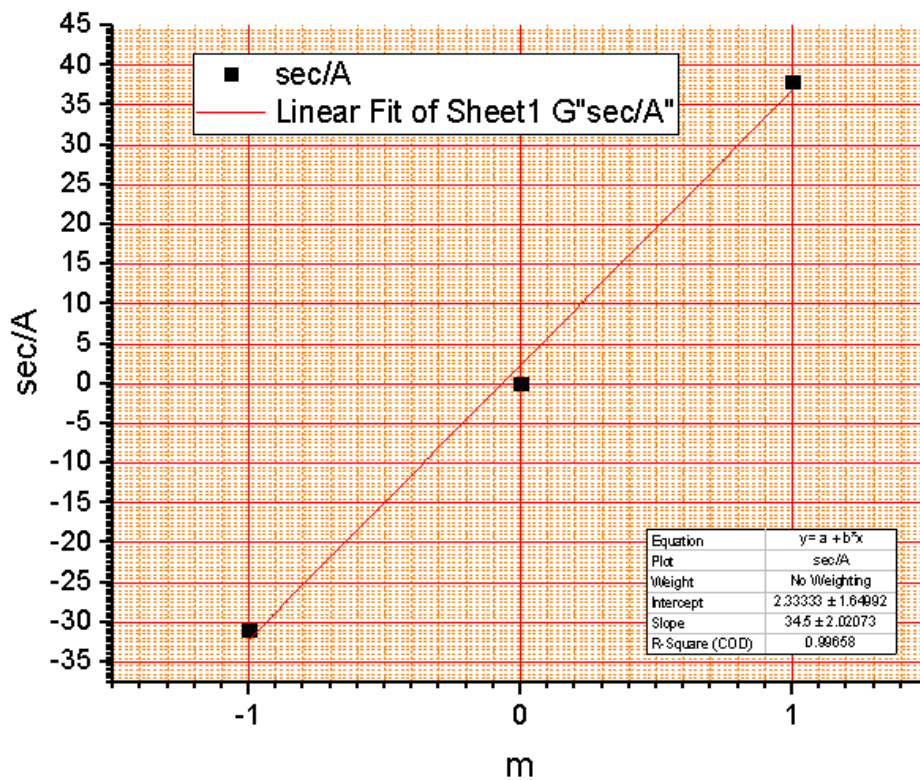
#### 4.2 Оценка погрешностей

Как и обычно, оценка инструментальных погрешностей проводится по общей формуле (с частными производными); в экспериментах с несколькими измерениями случайные погрешности существенно превалируют над инструментальными.

### 5 Вывод

Судя по расхождению экспериментальных данных с теоретическими, при снятии показаний гониометра, несмотря на его точность, были допущены ошибки, в частности, при измерении расстояния между жёлтыми спектральными линиями. Отчасти это связано с неудобством снятия показаний.

Тем не менее, удалось с неплохой точностью найти характеристики дифракционной решётки и исследовать спектр ртутной лампы.

Рис. 3: Угловая дисперсия для  $30^\circ$ 

## Список литературы

- [1] Сивухин Д. В. *Общий курс физики. Том 4 Оптика*, 2004
- [2] Кириченко Н. А. *Принципы оптики*, 2014
- [3] *Лабораторный практикум по общей физике. В 3 томах. Том 2. Оптика: учебное пособие* под ред. А. В. Максимычева