

Лабораторная работа 4.4.2 Фазовая дифракционная решётка

Балдин Виктор

4 марта 2025 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 Ω между рабочей гранью и плоскостью решётки не превышает 20° , 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 ψ – угол падения от нормали к решётке, φ – угол дифракции. Для нулевого порядка $\varphi_0 = \psi$. В отличие от амплитудной решётки, нулевой порядок не будет самым ярким. Угол φ_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

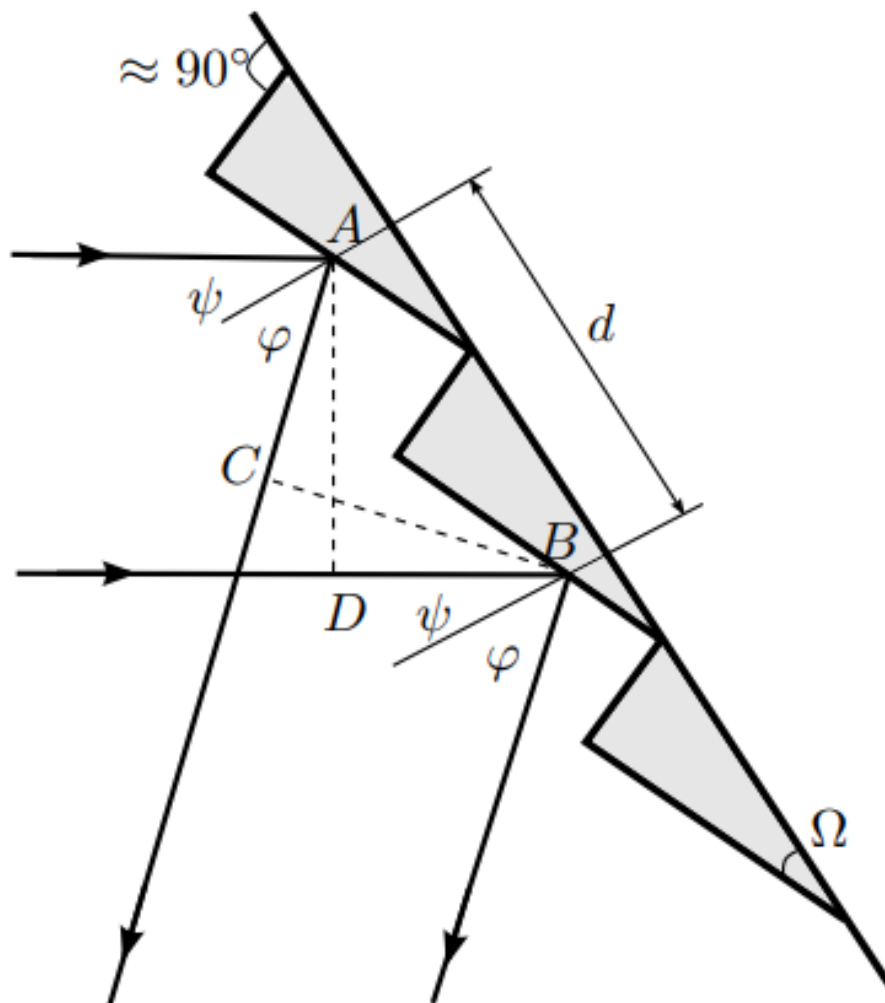
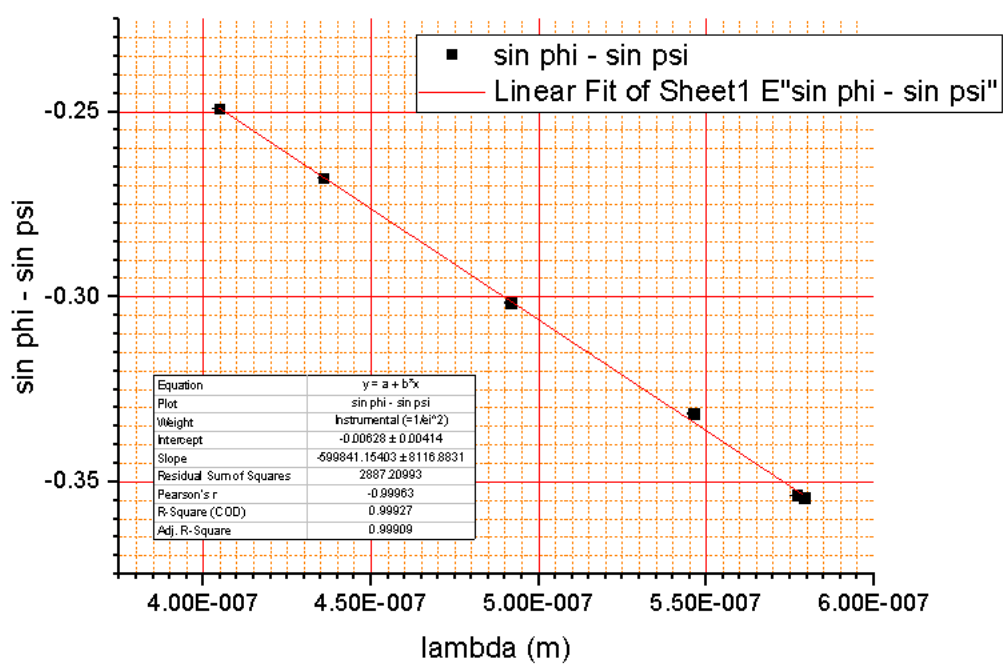


Рис. 1: Профиль фазовой дифракционной решётки; дифракция световой волны

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

Цвет	$\sin \varphi - \sin \psi$	λ
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

φ	$ \Delta\varphi $	$\Delta\lambda, \text{Å}$	$\left \frac{d\varphi}{d\lambda}\right _{\text{эксп}}, (\text{угл. с./Å})$	$\left \frac{d\varphi}{d\lambda}\right _{\text{теор}}, (\text{угл. с./Å})$
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 φ

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

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

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 ψ . 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.

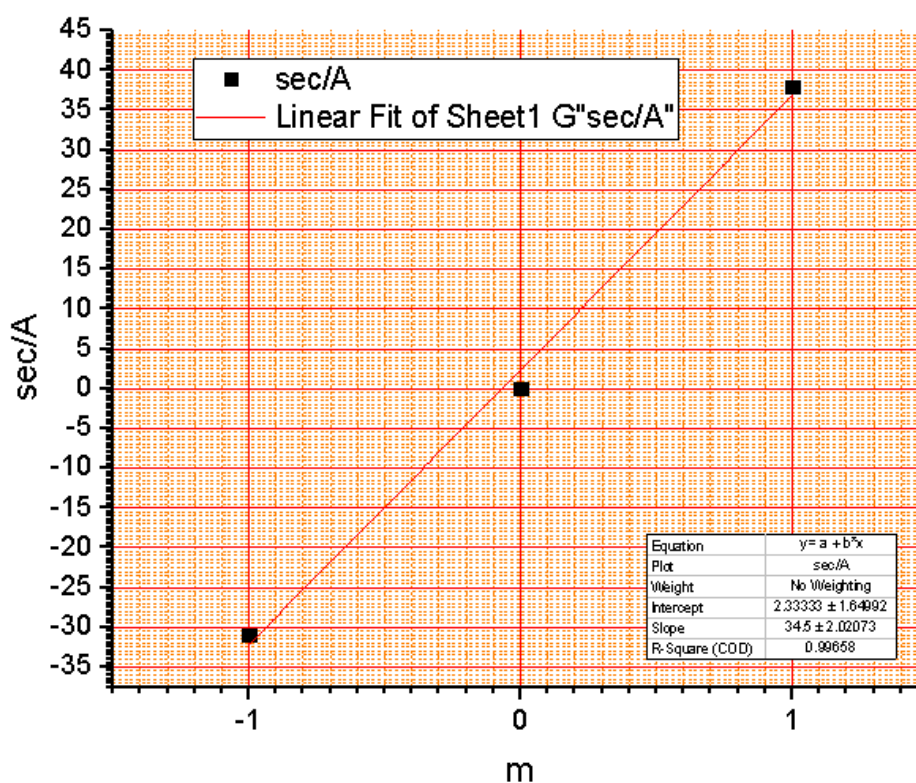
4.2 Оценка погрешностей

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°

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