

Отчет по лабораторной работе №2: "Дифракция Фраунгофера на решетке"

Никитин Илья

13 мая 2021 г.

Содержание

1	Задачи	1
2	Оборудование	2
3	Теория	2
3.1	Дифракция на одной щели	2
3.2	Дифракция на решетке с N щелями	3
3.3	Дифракция на концентрирующей отражающей решетке	4
4	Ход работы	5
4.1	Определение числа штрихов дифракционных решеток	5
4.1.1	Постановка эксперимента	5
4.1.2	Результаты эксперимента	6
4.2	Определение угла скоса решетки	10
4.2.1	Постановка эксперимента	10
4.2.2	Результаты эксперимента	10
5	Выводы	11

1 Задачи

- Собрать установку для наблюдения дифракции на отражающей дифракционной решетке, изучить дифракционную картину для различных решеток при различных углах падения света на решетку θ_i , определить положения максимумов.
- Для каждой решетки определить число штрихов на единицу длины a .

- С помощью фотодиодного измерителя мощности измерить интенсивность света в максимумах для решетки, с помощью которой наблюдается наибольшее количество максимумов. Обработав полученную зависимость, определить угол скоса решетки γ

2 Оборудование

- Лазер с длиной волны испускаемого света 520 нм
- Отражающие дифракционные решетки с разными постоянными решетки
- Рулетка, закрепленная на стене
- Линейка
- Анализатор интенсивности падающего света
- Различная оптическая арматура

3 Теория

3.1 Дифракция на одной щели

Пусть края щели находятся в координатах $x = \pm b/2$, где b - ширина щели. На щель падает плоская монохроматическая волна с волновым вектором k под углом θ_i к вектору нормали к решетке.

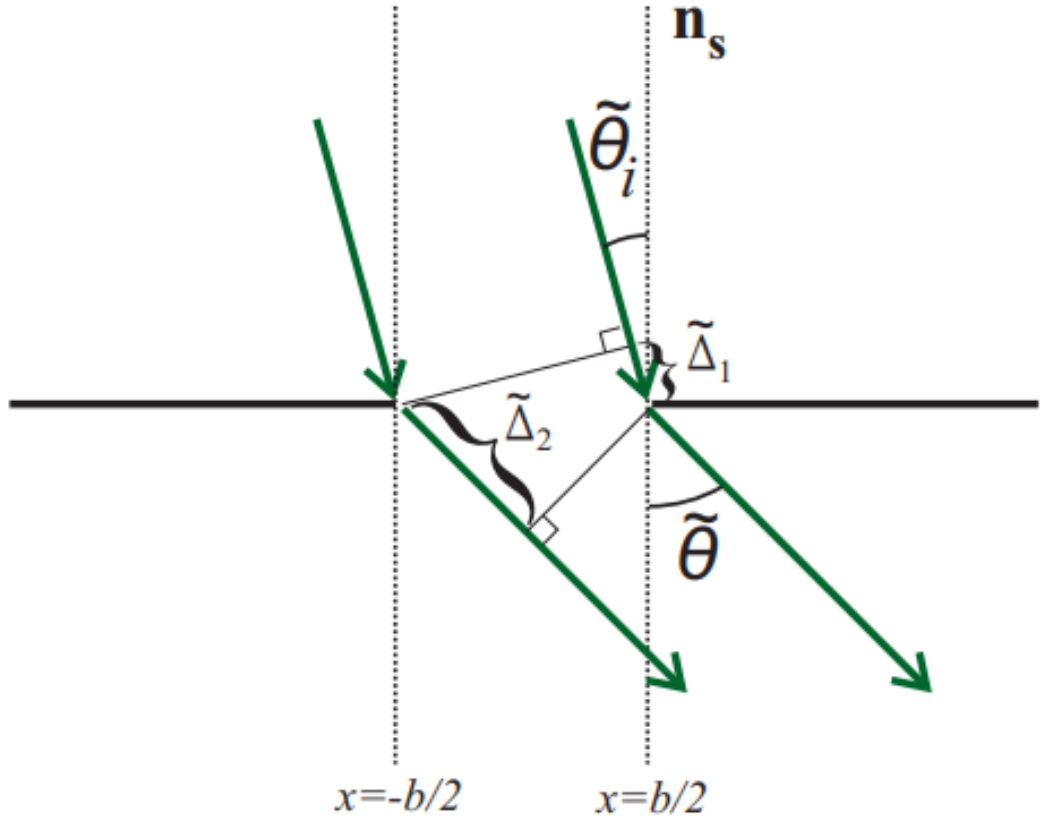


Рис. 1: Дифракция Фраунгофера на щели

Разность фаз между волнами излучаемыми из координаты $x = 0$ и x равна $\delta_1 = -kx(\sin \theta + \sin \theta_i)$. Получим:

$$E(\theta) \sim \int_{-b/2}^{b/2} \exp(-i\delta_1(x)) dx \sim \int_{-b/2}^{b/2} \exp(-ikx(\sin \theta + \sin \theta_i)) dx$$

$$E(\theta) \sim \frac{\sin(kb/2(\sin \theta + \sin \theta_i))}{kb/2(\sin \theta + \sin \theta_i)}$$

3.2 Дифракция на решетке с N щелями

Разность хода между вторичными волнами, образованными соседними щелями равна $\delta = dk(\sin \theta + \sin \theta_i)$, кроме того, поле, излучаемое щелью с номером n равно $E_n = E_1 \exp(-i\delta n)$. Отсюда результирующее поле:

$$E = E_1 * \sum_{n=0}^{N-1} \exp(-i\delta n) = E_1 \exp(i\delta(N/2 - 1)) \frac{\sin(N\delta/2)}{\sin(\delta/2)}$$

Отсюда можно получить интенсивность:

$$I \sim E^2 \sim \left[\frac{\sin(kb/2(\sin \theta + \sin \theta_i))}{kb/2(\sin \theta + \sin \theta_i)} \right]^2 \left[\frac{\sin(Nkd/2(\sin \theta + \sin \theta_i))}{\sin(kd/2(\sin \theta + \sin \theta_i))} \right]^2$$

Правый множитель отвечает за положение наблюдаемых максимумов, он же дает нам следующее условие:

$$d(\sin \theta + \sin \theta_i) = m\lambda,$$

где m - целое число, называемое порядком максимума.

3.3 Дифракция на концентрирующей отражающей решетке

В концентрирующей отражающей решетке из-за геометрии изменится множитель $E_1(\theta)$, второй множитель останется тем же.

$$I \sim E^2 \sim \left[\frac{\sin(kb/2(\sin(\theta - \gamma) + \sin(\theta_i - \gamma)))}{kb/2(\sin(\theta - \gamma) + \sin(\theta_i - \gamma))} \right]^2 \left[\frac{\sin(Nkd/2(\sin \theta + \sin \theta_i))}{\sin(kd/2(\sin \theta + \sin \theta_i))} \right]^2$$

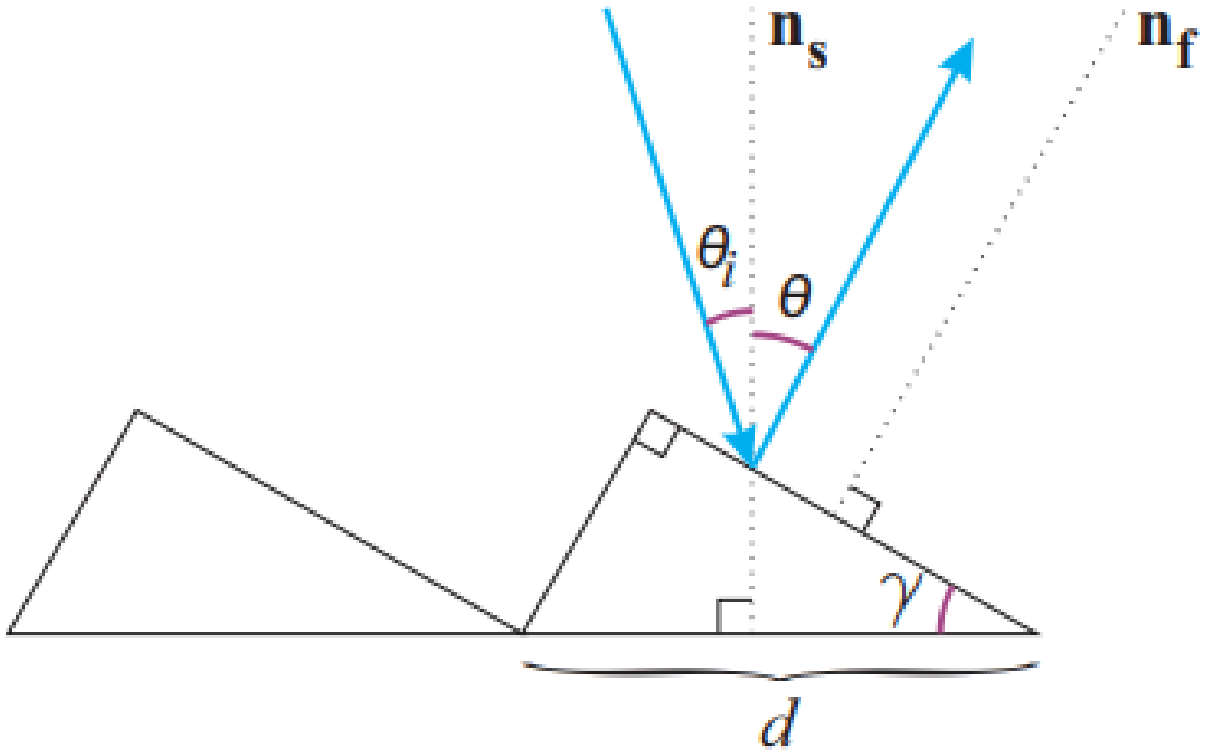


Рис. 2: Схематичный рисунок установки

Здесь нас будет интересовать первый, изменившийся множитель, который представляет из себя огибающую по интенсивности кривую.

Угол, под которым наблюдается максимум интенсивности, соответствует зеркальному отражению падающего света, называется углом блеска и определяется следующим выражением:

$$\phi_B = 2\gamma - \theta_i$$

4 Ход работы

4.1 Определение числа штрихов дифракционных решеток

4.1.1 Постановка эксперимента

На оптическом столе соберем следующую схему: закрепим дифракционные решетки напротив экрана, который представляет из себя стену с закрепленной рулеткой для измерения координат пучков на экране. Будем двигать лазер, изменяя углы падения луча на решетку и записывая полученные результаты. Повторим данный эксперимент для всех трех решеток.

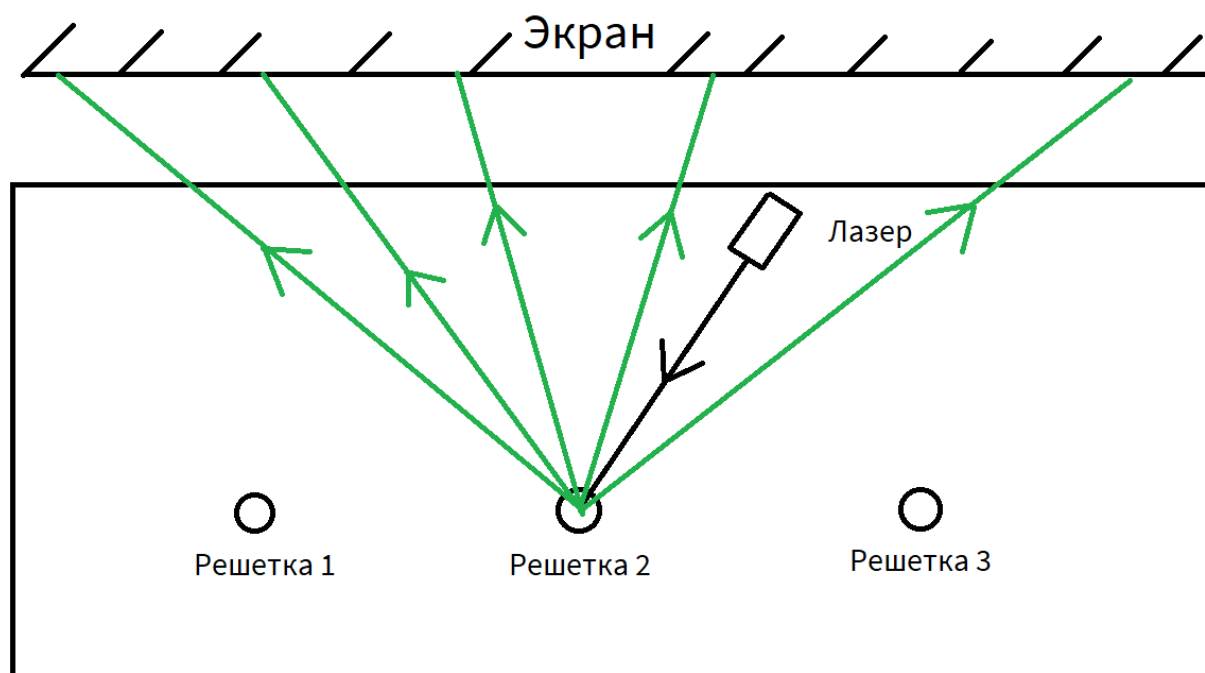


Рис. 3: Схематичный рисунок установки

4.1.2 Результаты эксперимента

В результате эксперимента мы получили различные геометрические параметры нашей системы. Элементарно переходя от расстояний к углам, будем строить графики $\sin \theta + \sin \theta_i$ в зависимости от номера максимума m :

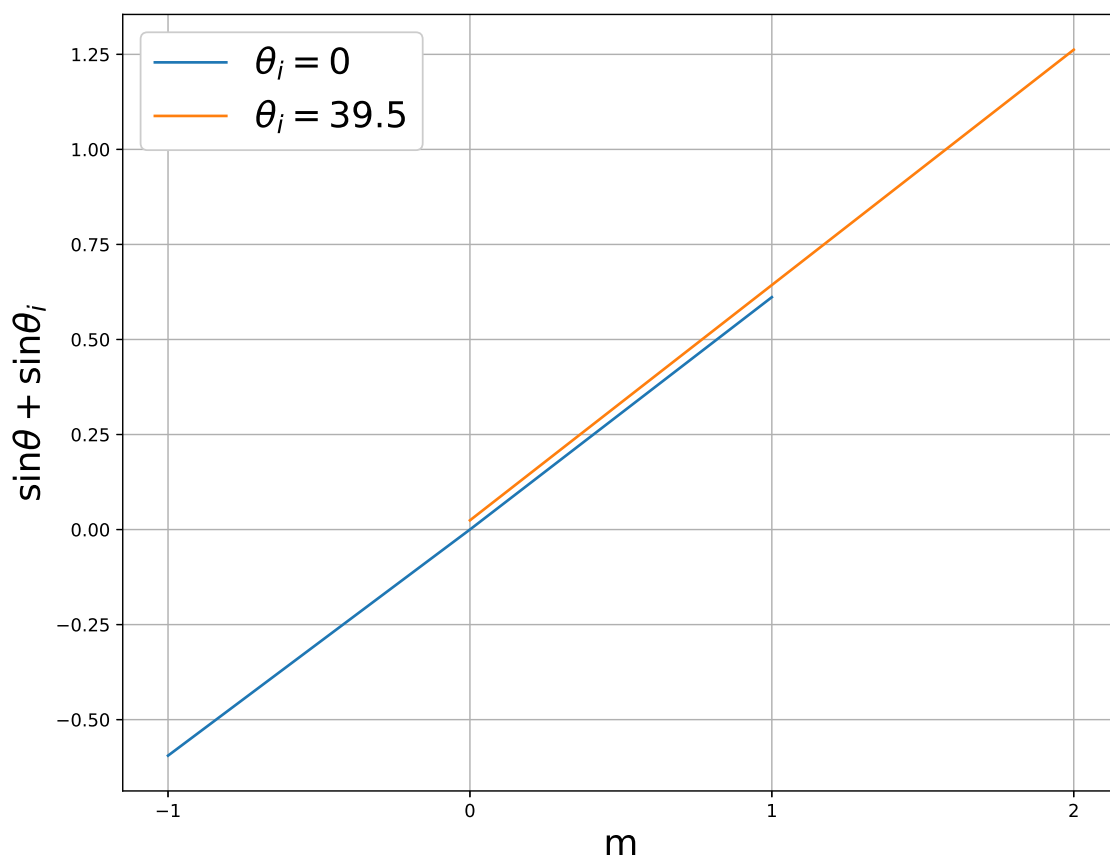


Рис. 4: Зависимость суммы синусов от номера максимума для первой решетки

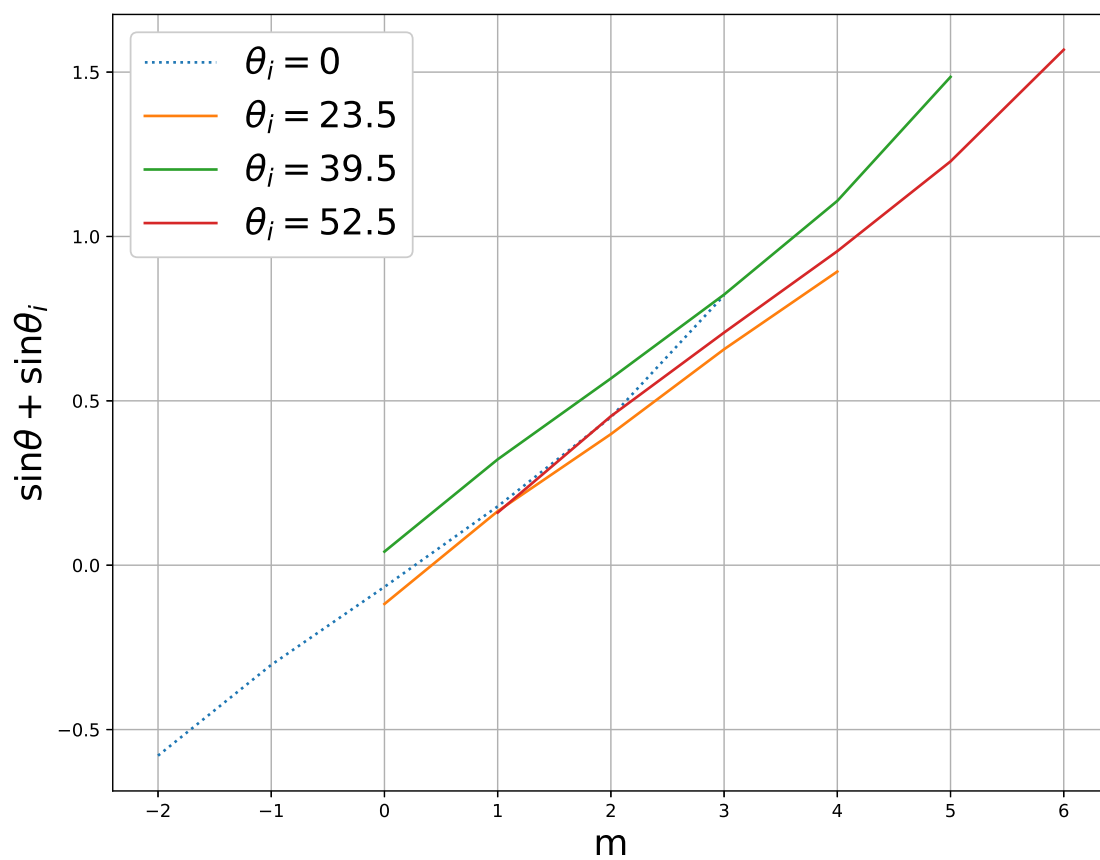


Рис. 5: Зависимость суммы синусов от номера максимума для второй решетки

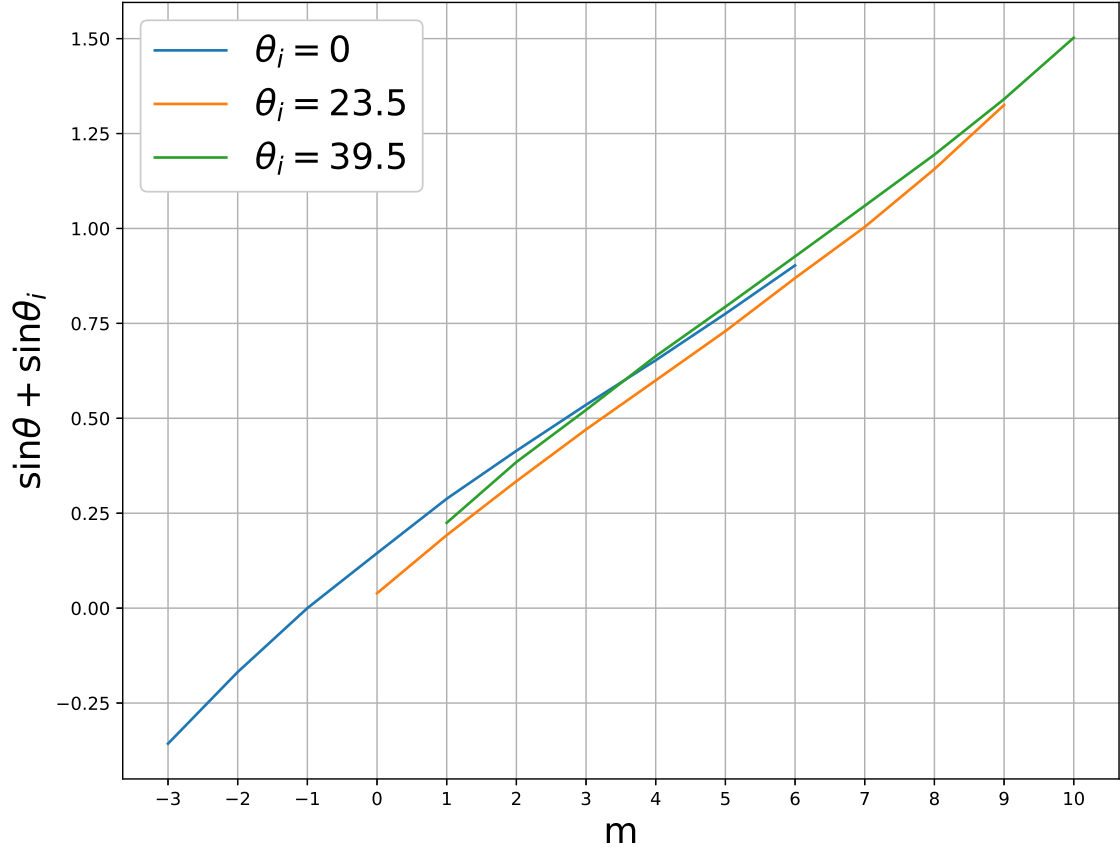


Рис. 6: Зависимость суммы синусов от номера максимума для третьей решетки

Для каждой решетки выразим количество штрихов через усредненный коэффициент наклона получившихся прямых $N_{slits} = \alpha/\lambda * 10^{-3}$ штрихов на мм. Получим:

$$\begin{cases} N_{slits1} \approx 1180 \pm 25_{\text{мм}^{-1}}, \\ N_{slits2} \approx 520 \pm 25_{\text{мм}^{-1}}, \\ N_{slits3} \approx 265 \pm 25_{\text{мм}^{-1}}. \end{cases}$$

4.2 Определение угла скоса решетки

4.2.1 Постановка эксперимента

Для решетки с наибольшим количеством максимумов в предыдущую постановку эксперимента добавим анализатор интенсивности, измеряющий интенсивность видимых максимумов. Построив график, попробуем профитировать его огибающей, упомянутой в теоретической части.

4.2.2 Результаты эксперимента

Получаем вот такой график (интенсивность нормирована на интенсивность максимума), который был подогнан по единственному параметру γ – углу скоса отражающей дифракционной решетки.

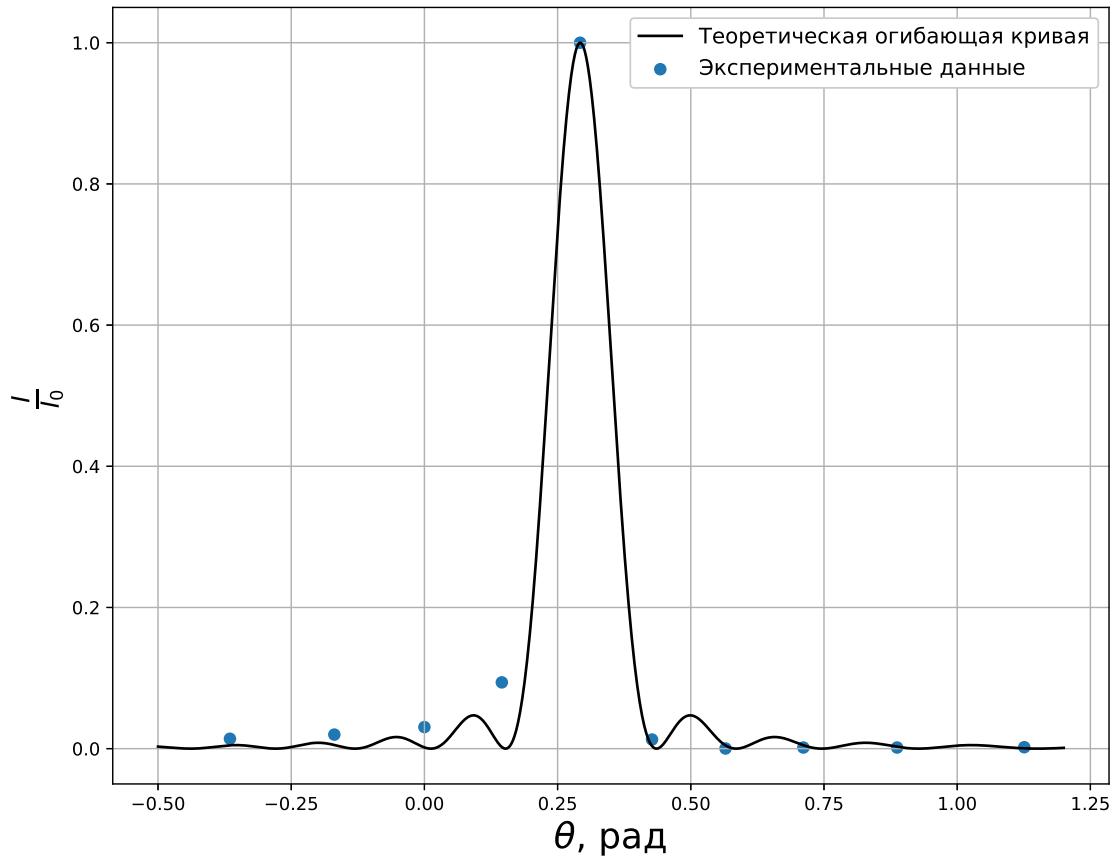


Рис. 7: Зависимость интенсивности от угла θ для третьей решетки

В результате фитирования было получено значение $\gamma = 0.14 \pm 0.02$ рад

5 Выводы

- С помощью предложенной установки были получены значения числа штрихов на единицу длины для каждой решетки.

$$\begin{cases} N_{slits1} \approx 1180 \pm 25 \text{ мм}^{-1}, \\ N_{slits2} \approx 520 \pm 25 \text{ мм}^{-1}, \\ N_{slits3} \approx 265 \pm 25 \text{ мм}^{-1}. \end{cases}$$

- Нами было исследовано распределение интенсивности отраженного от концентрирующей решетки света и для конкретной решетки получено значение угла скоса $\gamma = 0.14 \pm 0.02$ рад