

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ "ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ"

ФАКУЛЬТЕТ ФИЗИКИ

ОТЧЁТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ
"ДИФРАКЦИЯ ФРАУНГОФЕРА НА РЕШЁТКЕ"
по курсу "Оптика"

Выполнила:

Фазлиахметова Олеся Камилевна

БФ3193

2 курс

Проверила:

Готовко С. К.

Москва
12 апреля 2021 г.

Содержание

1. Цель работы	2
2. Оборудование	2
3. Теоретическое описание	2
3.1. Дифракционная решетка	2
3.2. Концентрирующая отражающая решетка (blazed grating)	3
4. Выполнение работы	4
4.1. Определение положения максимумов при различных углах Θ_i	4
4.1.1. Решетка №1	4
4.1.2. Решетка №2	4
4.1.3. Решетка №3	5
4.2. Определение числа штрихов на единицу длины a	6
4.2.1. Решетка №1	6
4.2.2. Решетка №2	7
4.2.3. Решетка №3	8
4.3. Определение угла скоса решетки γ	10
4.4. Подсчет погрешностей	11
5. Вывод	11

1. Цель работы

Перед началом выполнения работы были поставлены следующие цели:

- 1) Собрать установку для наблюдения дифракции на отражающей дифракционной решетке, изучить дифракционную картину для различных решёток при различных углах падения света на решетку Θ_i , определить положения максимумов.
- 2) Для каждой решетки определить число штрихов на единицу длины d .
- 3) 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 решётки γ .

2. Оборудование

- 1) Лазеры с длиной волны $\lambda = 520$ нм;
- 2) Отражающие дифракционные решетки с разными постоянными решетки;
- 3) Переносной экран;
- 4) Подставки и крепления для элементов оптической схемы;
- 5) Линейки.

3. Теоретическое описание

3.1. Дифракционная решетка

Дифракционная решётка представляет собой периодическую структуру одинаковых щелей с периодом d . Пусть плоская монохроматическая волна (с длиной волны λ) падает на решетку перпендикулярно к ее поверхности. Здесь также точка наблюдения P находится под углом Θ (угол дифракции) к нормали к решетке. Тогда результирующее поле в точке P , излучаемое всеми N щелями:

$$E(\Theta) = E_1(\Theta) e^{i\delta(N/2-1)} \frac{\sin(N\delta/2)}{\sin(\delta/2)}, \quad \delta = kd \sin(\Theta) \quad (1)$$

$$E_1(\Theta) \propto \frac{\sin(kb/2 \sin \Theta)}{(kb/2 \sin \Theta)}, \quad b - \text{ширина щели}$$

Распределение интенсивности по углам описывается следующим соотношением:

$$I \propto \left[\frac{\sin(kb/2(\sin \Theta + \sin \Theta_i))}{(kb/2(\sin \Theta + \sin \Theta_i))} \frac{\sin(Nkd/2(\sin \Theta + \sin \Theta_i))}{\sin(kd/2(\sin \Theta + \sin \Theta_i))} \right]^2 \quad (2)$$

Положения максимумов определяются из условия:

$$d(\sin \Theta + \sin \Theta_i) = m\lambda, \quad m \in \mathbb{Z} - \text{порядок максимума.} \quad (3)$$

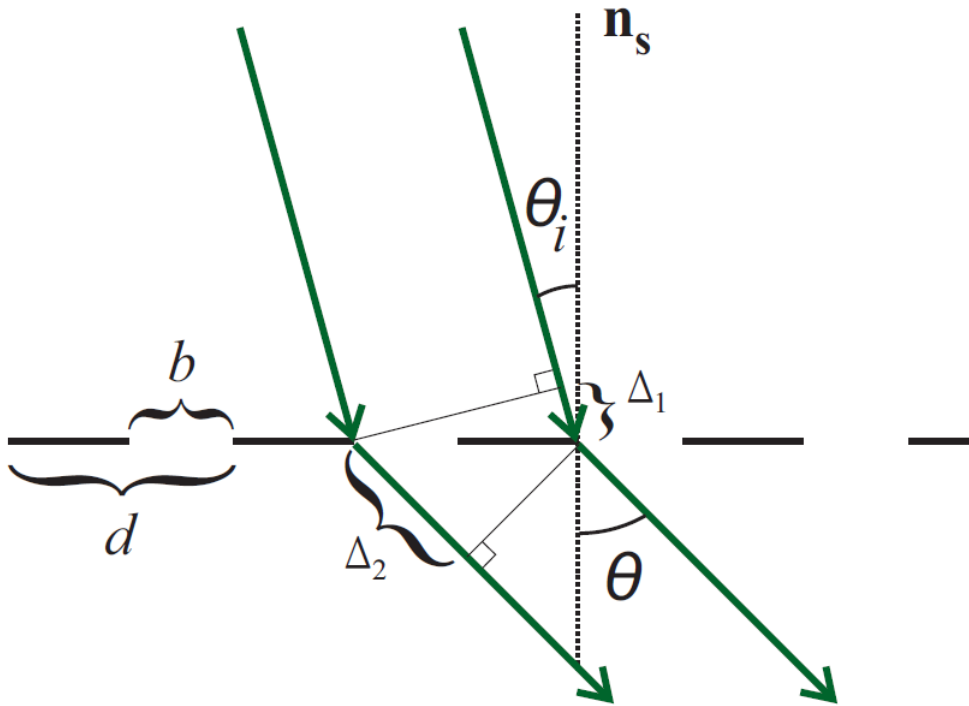


Рис. 1. Дифракция Фраунгофера на решетке

3.2. Концентрирующая отражающая решетка (blazed grating)

Для практических целей часто используются отражающие решетки с треугольным профилем. Такие решетки позволяют концентрировать дифрагировавшее излучение в ненулевом порядке. Такая решетка характеризуется углом скоса (γ), определяющим, в каком порядке m будет наблюдаться максимум дифрагировавшего излучения в зависимости от длины волны (см. Рис. 2).

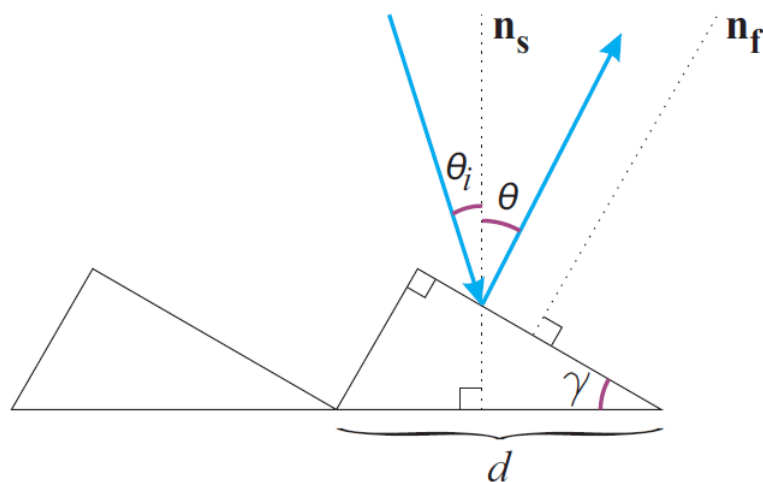


Рис. 2. Концентрирующая отражающая решетка (blazed grating)

Распределение интенсивности (2) преобразуется следующим образом:

$$I \propto \left[\frac{\sin(kd \cos \gamma / 2 (\sin(\Theta - \gamma) + \sin(\Theta_i - \gamma)))}{kd \cos \gamma / 2 (\sin(\Theta - \gamma) + \sin(\Theta_i - \gamma))} \frac{\sin(Nkd / 2 (\sin \Theta + \sin \Theta_i))}{\sin(kd / 2 (\sin \Theta + \sin \Theta_i))} \right]^2 \quad (4)$$

4. Выполнение работы

4.1. Определение положения максимумов при различных углах Θ_i

Погрешность измерения рулетки: ± 0.1 см. Примем за погрешность радиус пятна главного максимума ± 0.2 .

4.1.1. Решетка №1

Положение нуля $l = 100$ см, расстройка от решетки до стены $h = 119.5$ см.

1. $\Theta_i = 0$

m	Расстояние, см	$\sin \Theta$
0.	100. ± 0.2	0.
1.	138.7 ± 0.2	0.31
2.	195. ± 0.2	0.62
-1.	61.2 ± 0.2	-0.31
-2.	6.9 ± 0.2	-0.61

2. $\Theta_i = 0.26$

m	Расстояние, см	$\sin \Theta$
1.000e+00	1.100e+02 ± 0.2	8.000e-02
2.000e+00	1.512e+02 ± 0.2	3.900e-01
3.000e+00	2.190e+02 ± 0.2	7.100e-01
0.000e+00	7.230e+01 ± 0.2	-2.300e-01
-1.000e+00	2.480e+01 ± 0.2	-5.300e-01

4.1.2. Решетка №2

,

Положение нуля $l = 143.8$ см, расстройка от решетки до стены $h = 119.5$ см.

1. $\Theta_i = 0$

m	Расстояние, см	$\sin \Theta$
0.	143.8 ± 0.2	0.
1.	239. ± 0.2	0.62
-1.	49. ± 0.2	-0.62

2. $\Theta_i = 0.685$

m	Расстояние, см	$\sin \Theta$
1.	143.8 ± 0.2	0.
0.	48.5 ± 0.2	-0.62

4.1.3. Решетка №3

Положение нуля $l = 188.5$ см, расстройка от решетки до стены $h = 122$ см.

1. $\Theta_i = 0$

m	Расстояние, см	$\sin \Theta$
-5.000e+00	3.620e+01 ± 0.2	-7.800e-01
-4.000e+00	9.050e+01 ± 0.2	-6.300e-01
-3.000e+00	1.235e+02 ± 0.2	-4.700e-01
-2.000e+00	1.483e+02 ± 0.2	-3.100e-01
-1.000e+00	1.693e+02 ± 0.2	-1.600e-01
0.000e+00	1.885e+02 ± 0.2	0.000e+00
1.000e+00	2.073e+02 ± 0.2	1.500e-01
2.000e+00	2.280e+02 ± 0.2	3.100e-01
3.000e+00	2.525e+02 ± 0.2	4.600e-01
4.000e+00	2.851e+02 ± 0.2	6.200e-01
5.000e+00	3.395e+02 ± 0.2	7.800e-01

2. $\Theta_i = 0.152$

m	Расстояние, см	$\sin \Theta$
1.000e+00	1.885e+02 ± 0.2	0.000e+00
2.000e+00	2.287e+02 ± 0.2	3.100e-01
3.000e+00	2.533e+02 ± 0.2	4.700e-01
4.000e+00	2.860e+02 ± 0.2	6.200e-01
5.000e+00	3.405e+02 ± 0.2	7.800e-01
0.000e+00	1.695e+02 ± 0.2	-1.500e-01
-1.000e+00	1.243e+02 ± 0.2	-4.700e-01
-2.000e+00	9.130e+01 ± 0.2	-6.200e-01
-3.000e+00	3.750e+01 ± 0.2	-7.800e-01

3. $\Theta_i = 0.29$

m	Расстояние, см	$\sin \Theta$
1.000e+00	1.710e+02 ± 0.2	-1.400e-01
2.000e+00	1.900e+02 ± 0.2	1.000e-02
3.000e+00	2.098e+02 ± 0.2	1.700e-01
4.000e+00	2.555e+02 ± 0.2	4.800e-01
5.000e+00	2.900e+02 ± 0.2	6.400e-01
0.000e+00	1.507e+02 ± 0.2	-3.000e-01
-1.000e+00	1.267e+02 ± 0.2	-4.500e-01
-2.000e+00	9.520e+01 ± 0.2	-6.100e-01

4. $\Theta_i = 0.3855$

m	Расстояние, см	$\sin \Theta$
1.000e+00	1.642e+02±0.2	-2.000e-01
2.000e+00	1.837e+02±0.2	-4.000e-02
3.000e+00	2.230e+02±0.2	2.700e-01
4.000e+00	2.763e+02±0.2	5.800e-01
5.000e+00	3.230e+02±0.2	7.400e-01
0.000e+00	1.427e+02±0.2	-3.500e-01
-1.000e+00	1.167e+02±0.2	-5.100e-01
-2.000e+00	8.050e+01±0.2	-6.600e-01
-3.000e+00	1.550e+01±0.2	-8.200e-01

4.2. Определение числа штрихов на единицу длины a

Для каждой решетки построим зависимость $\sin \Theta(m)$. Она линейна – коэффициент наклона прямой определяет величину λ/d .

4.2.1. Решетка №1

Число штрихов на единицу длины $a = 595.5 \pm 0.5 \text{ мм}^{-1}$.

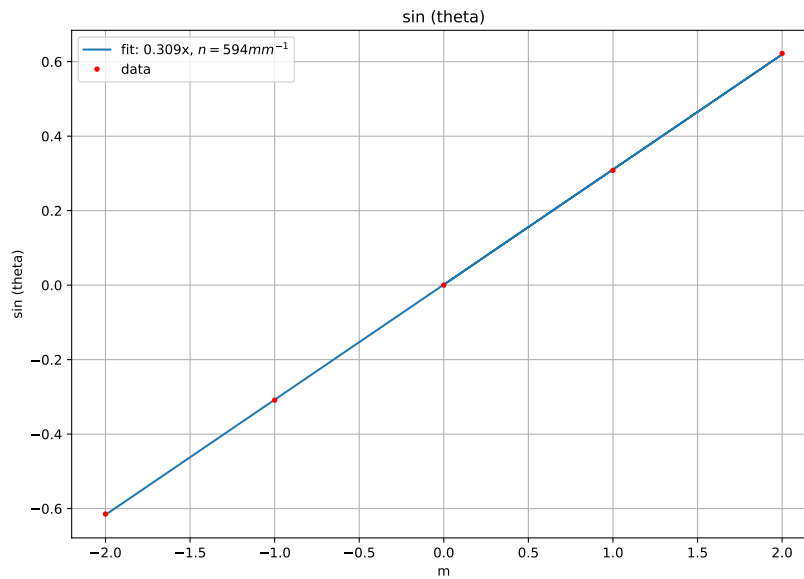


Рис. 3. $\Theta_i = 0$

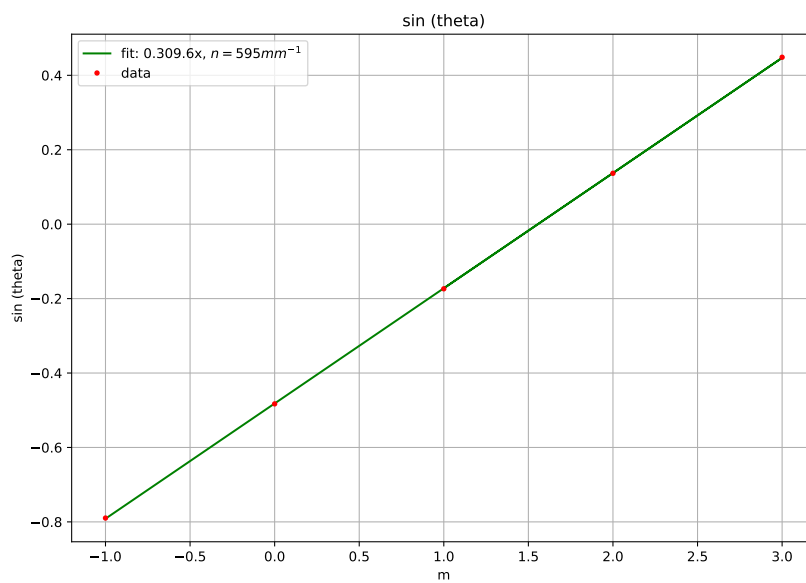


Рис. 4. $\Theta_i = 0.26$

4.2.2. Решетка №2

Число штрихов на единицу длины $a = 1198 \pm 1 \text{ мм}^{-1}$.

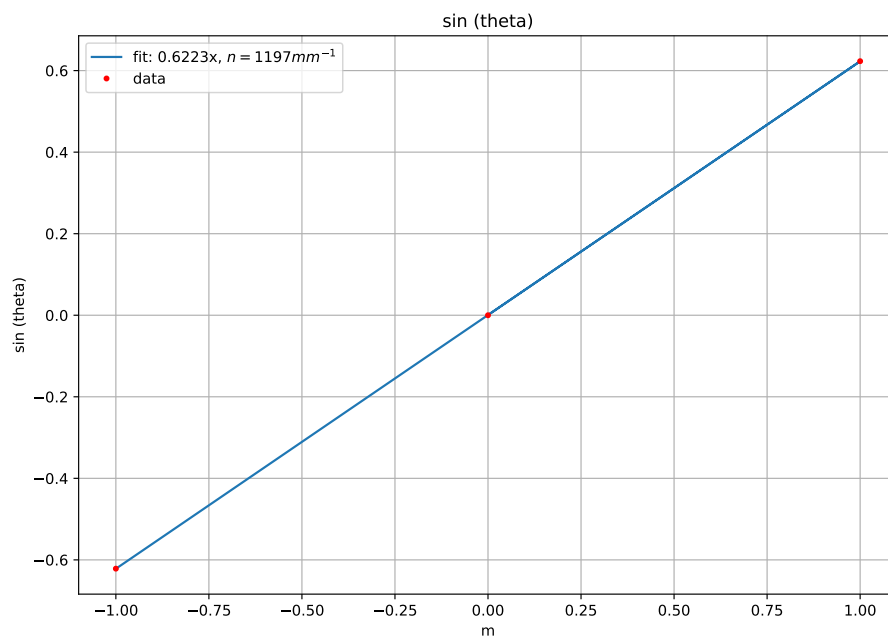


Рис. 5. $\Theta_i = 0$

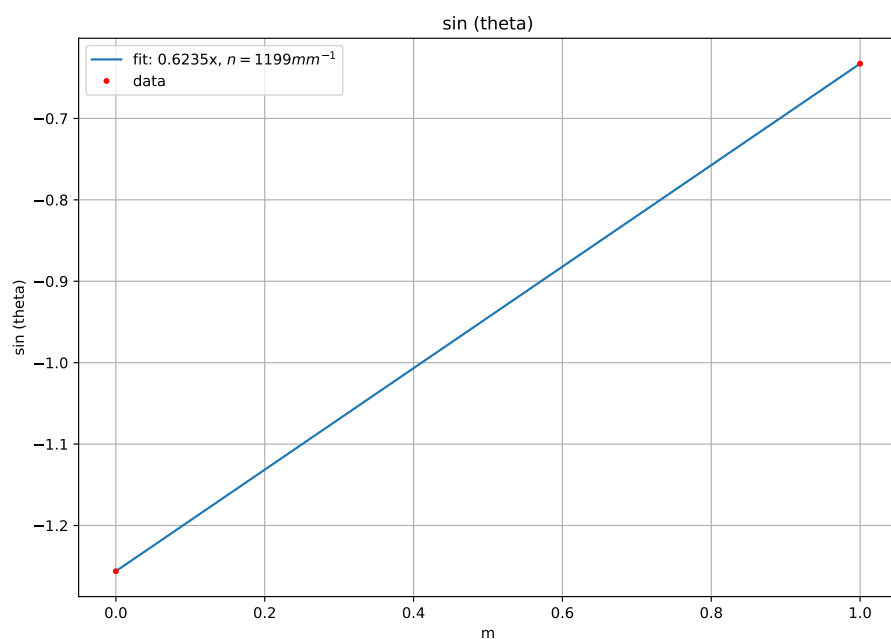


Рис. 6. $\Theta_i = 0.685$

4.2.3. Решетка №3

Число штрихов на единицу длины $a = 325 \pm 25 \text{ мм}^{-1}$.

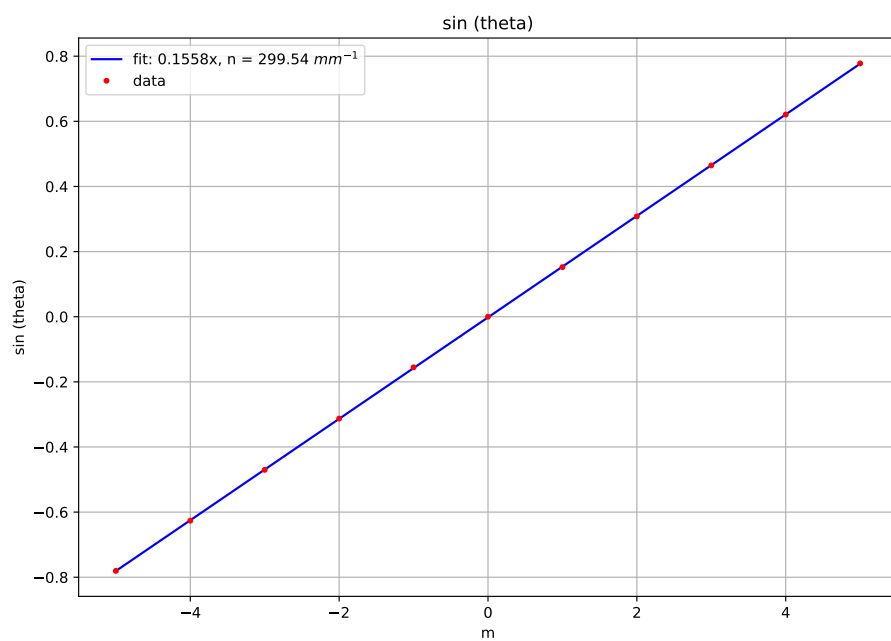


Рис. 7. $\Theta_i = 0$

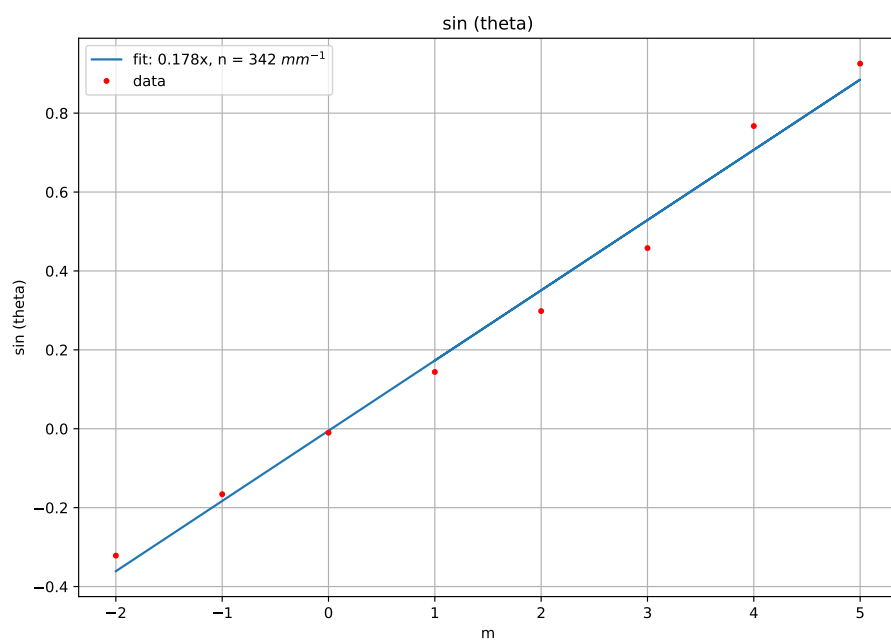


Рис. 8. $\Theta_i = 0.29$

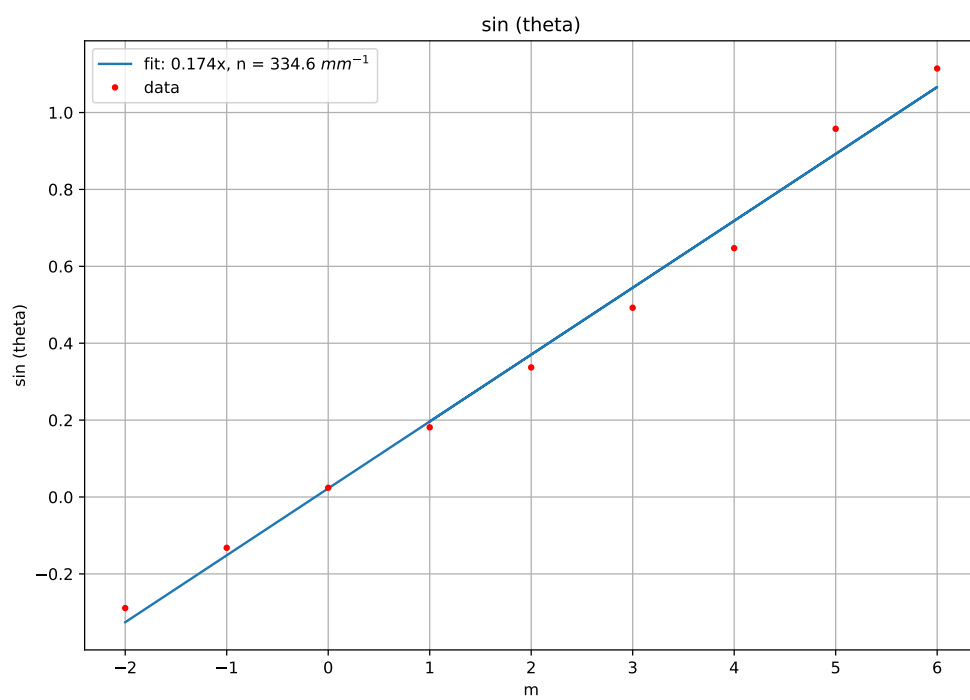


Рис. 9. $10\Theta_i = 0.45$

4.3. Определение угла скоса решетки γ .

Данные, которые были замерены с помощью фотодиодного измерителя мощности для решетки №3:

Интенсивность, мВт	$\sin \Theta$
7.70e+01	-7.80e-01
8.00e+01	-6.30e-01
8.40e+01	-4.70e-01
1.00e+02	-3.10e-01
1.49e+02	-1.60e-01
4.94e+02	0.00e+00
7.36e+03	1.50e-01
7.60e+01	3.10e-01
1.30e+01	4.60e-01
1.60e+01	6.20e-01
1.50e+01	7.80e-01

Для нахождения угла скоса γ аппроксимируем эти результаты функцией (4) и найдем ее параметры (указаны на Рис. 10):

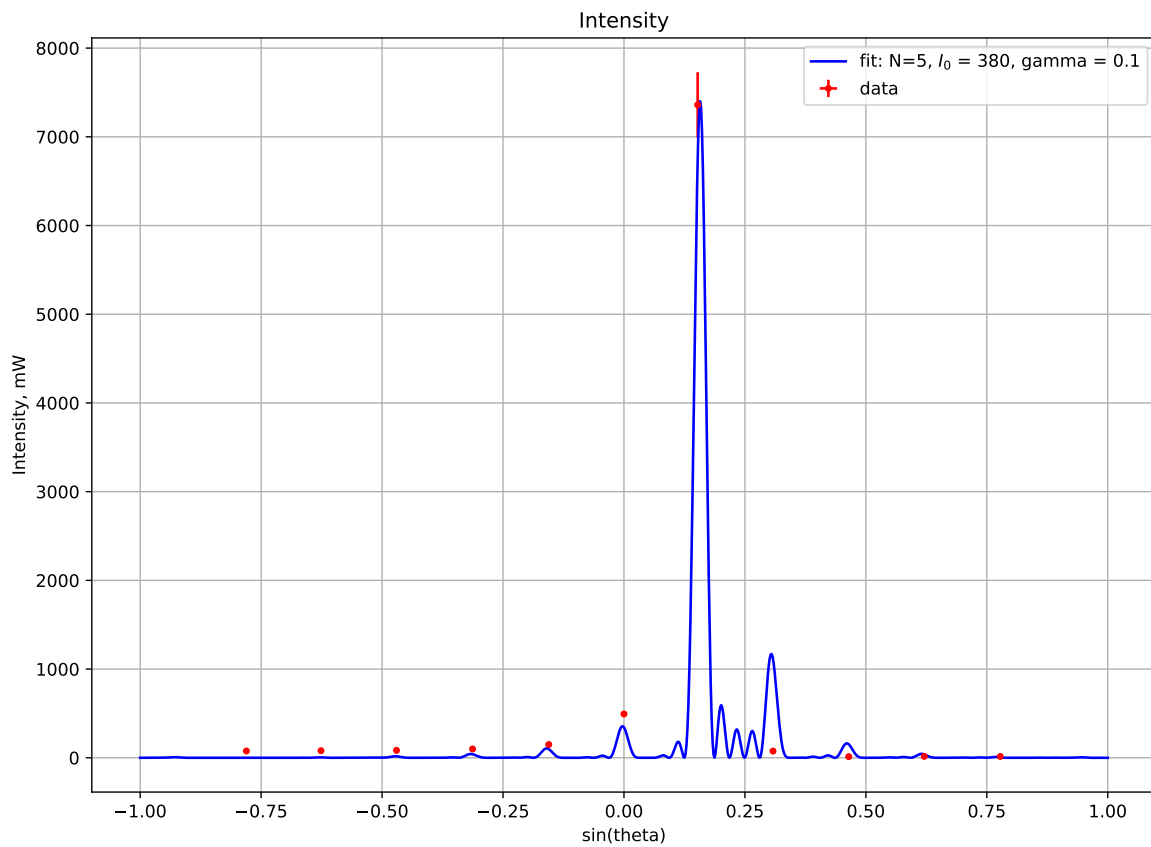


Рис. 10. Интенсивность излучения

Погрешность измерения мощности лазерного излучения фотодиодным измерителем не превышает 5%.

Т. о. угол скоса $\gamma = 0.1 \approx \frac{\pi}{30}$.

4.4. Подсчет погрешностей

5. Вывод

В ходе работы мы

- собрали установку для наблюдения дифракции на отражающей дифракционной решетке, изучили дифракционную картину для различных решёток при различных углах падения света на решетку Θ_i , определили положения максимумов,
- для каждой решетки определили число штрихов на единицу длины, эти значения оказались равными:
 - 1) $a_1 = 595.5 \pm 0.5$ мм
 - 2) $a_2 = 1198 \pm 1$ мм
 - 3) $a_3 = 325 \pm 25$ мм
- с помощью фотодиодного измерителя мощности измерили интенсивность света в максимумах для решетки, с помощью которой наблюдается наибольшее количество максимумов. Обработав полученную зависимость, определили угол скоса решётки γ . Он оказался равен $\gamma = 0.1 \approx \frac{\pi}{30}$.