

Группа М3205

К работе допущен _____

Студент Степанюк Аврора, Тросько
Виктория

Работа выполнена _____

Преподаватель Шоев В.И.

Отчет принят _____

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №4.07

Изучение дифракции Фраунгофера на одной и многих щелях

1. Цель работы.

1. Изучение дифракции Фраунгофера на одной щели, на четырех щелях, на одномерной и двумерной дифракционных решетках.
2. Исследование распределения интенсивности в дифракционной картин

2. Задачи, решаемые при выполнении работы.

1. Получить картины дифракции Фраунгофера от различных объектов
2. Определить размеры щели
3. Определить ширину центрального дифракционного максимума
4. Определить интенсивности порядков дифракции
5. Объяснить изменение дифракционной картины при наклонном падении лучей

3. Объект исследования.

Щели и решетки, на которых проявляется дифракция Фраунгофера.

4. Метод экспериментального исследования.

Лабораторный эксперимент.

5. Рабочие формулы и исходные данные.

Исходные данные:

$$\lambda = 650 \text{ нм}$$

$$L = 370 \text{ мм}$$

$E \perp$ плоскости лицевой панели

Рабочие формулы:

$\theta_n = \arcsin \frac{m\lambda}{b}$ – формула угла дифракции, λ – длина волны света, b – ширина щели.

$d' = d \cos \theta$ – формула периода решетки при наклонном падении луча, d – период решетки, θ – угол падения луча.

$$\begin{cases} x_k = \pm \frac{k\lambda}{d} L \\ x_m = \pm \frac{m\lambda}{d} L \end{cases} \text{ – формула главного минимума/максимума на экране, } m = 1, 2, 3, \dots \text{ –}$$

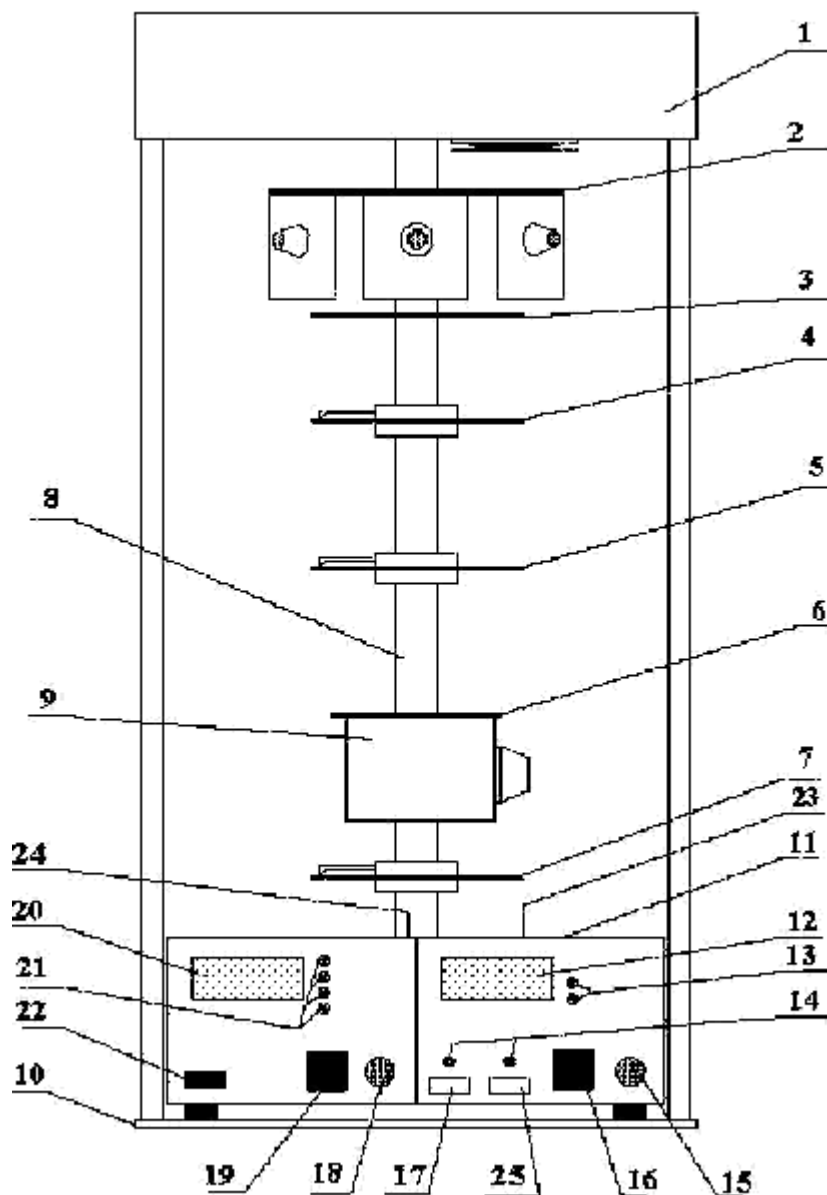
координаты главных минимумов для решетки, $k = 0, 1, 2, 3, \dots$ – координаты главных максимумов для решетки, L – расстояние до щели.

6. Измерительные приборы.

№ п/п	Наименование	Используемый диапазон	Погрешность прибора
-------	--------------	-----------------------	---------------------

1	Угломерная шкала	$0 \div 90^\circ$	$\pm 1^\circ$
2	Фотоприемник	$0 \div 100\%$	$\pm 0,001\%$

7. Схема установки



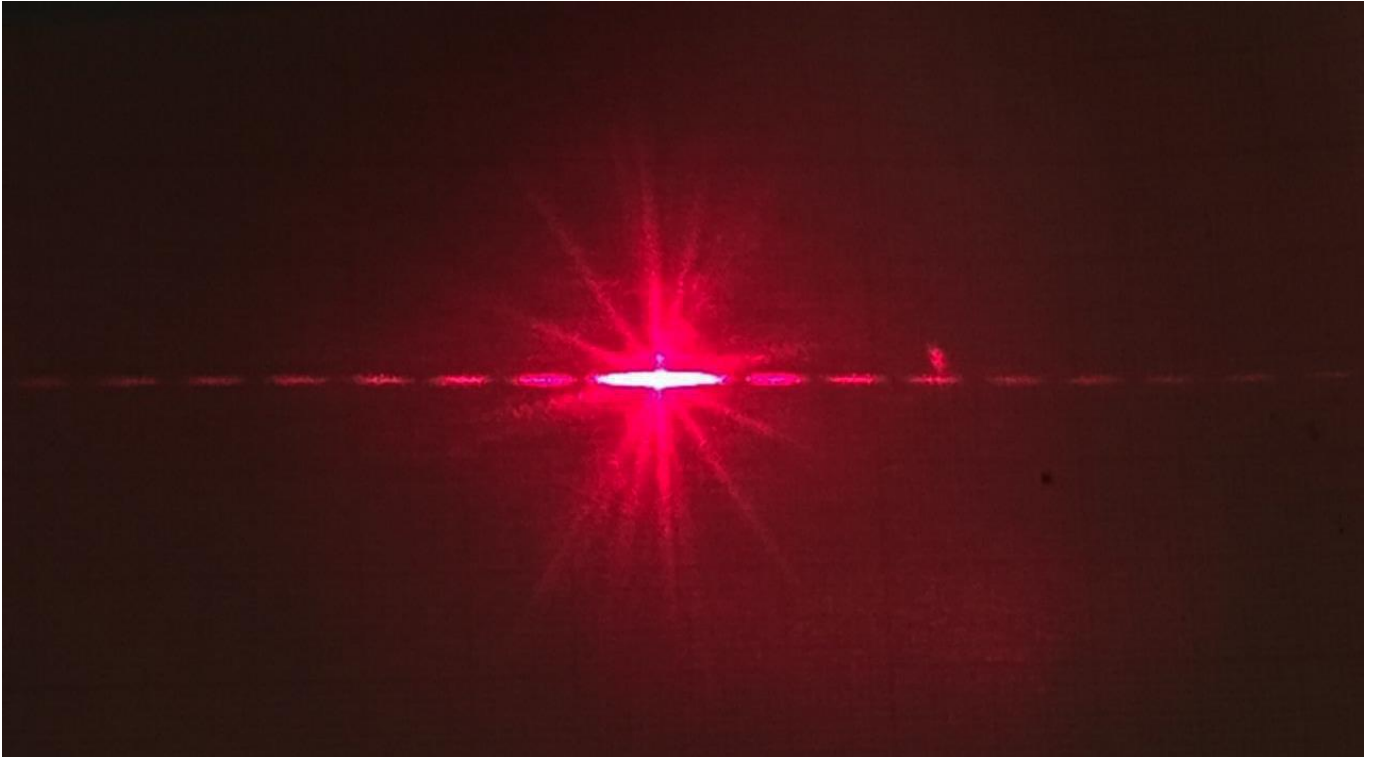
1. Блок осветителей;
2. Турель;
3. Защитный экран;
4. Поляризатор;
5. Двулучепреломляющий одноосный образец;
6. Блок для измерения угла Брюстера;
7. Анализатор;
8. Стойка;
9. Отсчетная вертикальная шкала;
10. Основание;
11. Электронный блок;
12. Индикатор измерений блока амперметра-вольтметра;
13. Индикатор режима измерений блока амперметра-вольтметра;
14. Индикаторы включенного источника;
15. Регулятор накала белого осветителя;

- 16. Кнопка переключения режима измерений блока амперметра-вольтметра;
- 17. Кнопка включения лазера;
- 18. Ручка установки относительной интенсивности «J/J0»;
- 19. Кнопка переключения фотоприемников;
- 20. Индикатор относительной интенсивности излучения;
- 21. Индикаторы включенного фотоприемника;
- 22. Кнопка «Сеть»;
- 23. Окно фотоприемников белого осветителя;
- 24. Окно фотоприемника лазерного излучения;
- 25. Кнопка включения лампы.

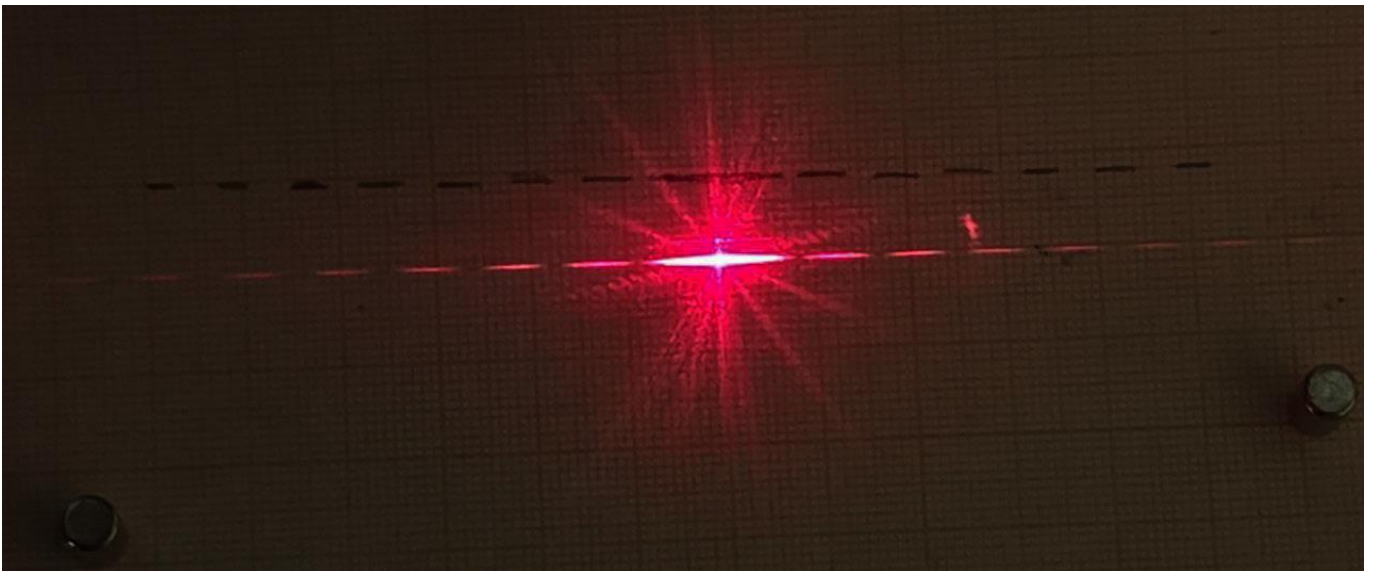
8. Результаты прямых измерений и их обработки.

Одна щель:

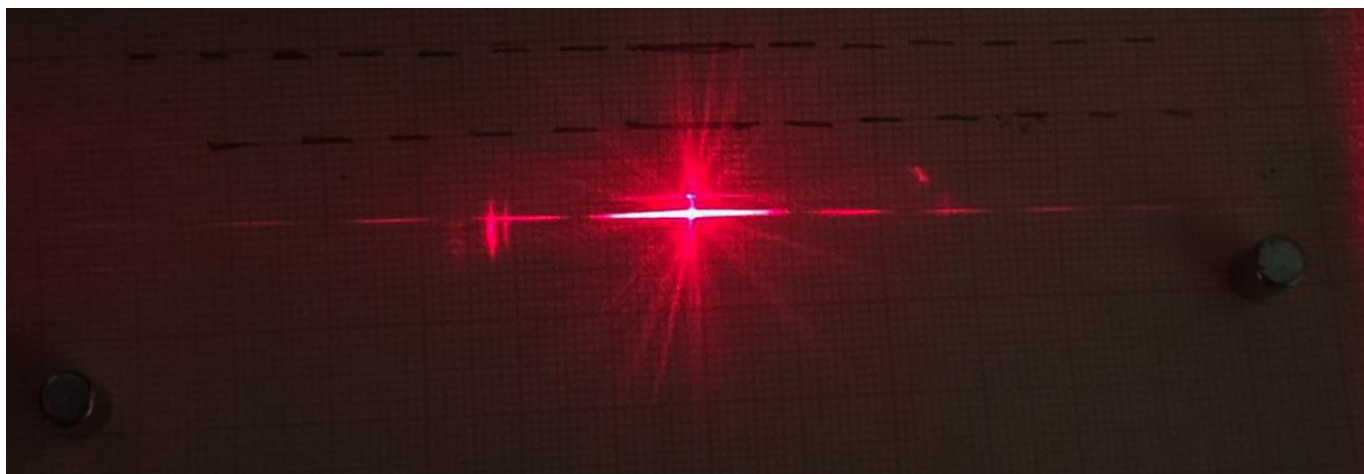
0°



30°

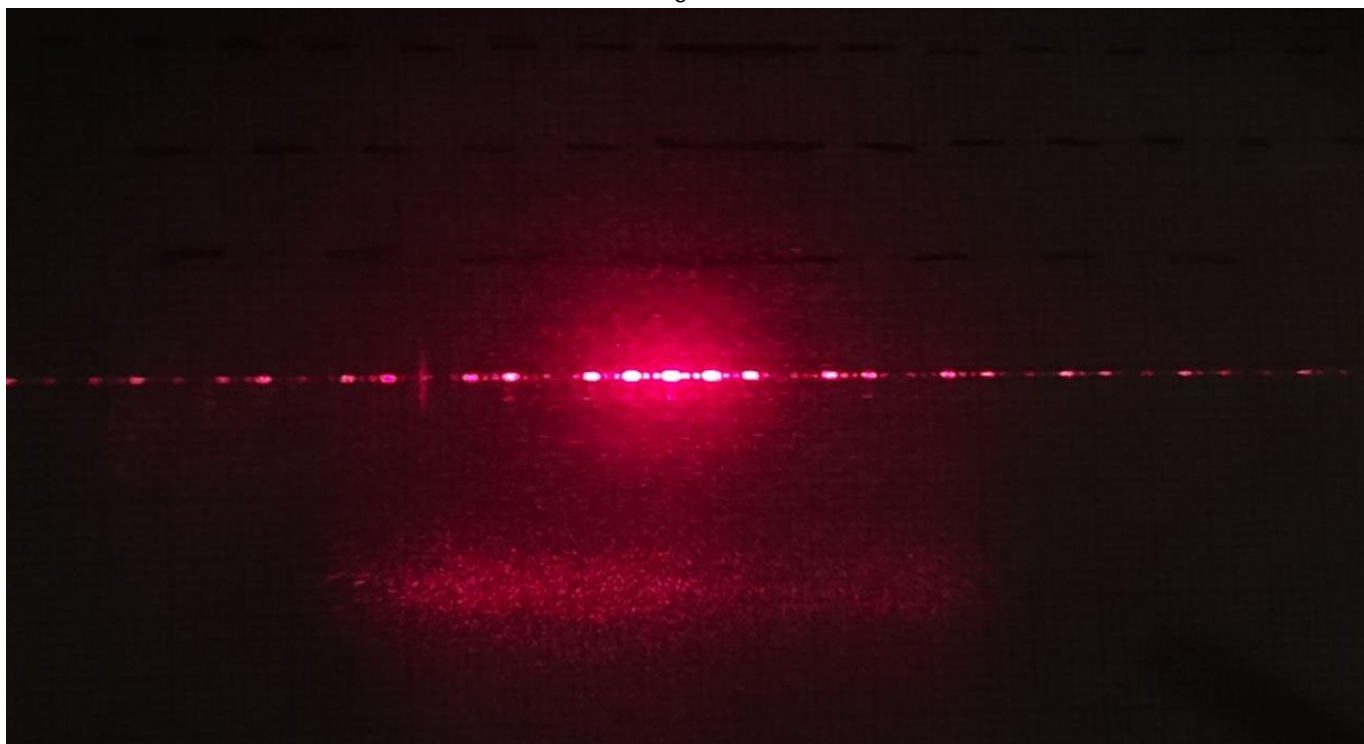


60°

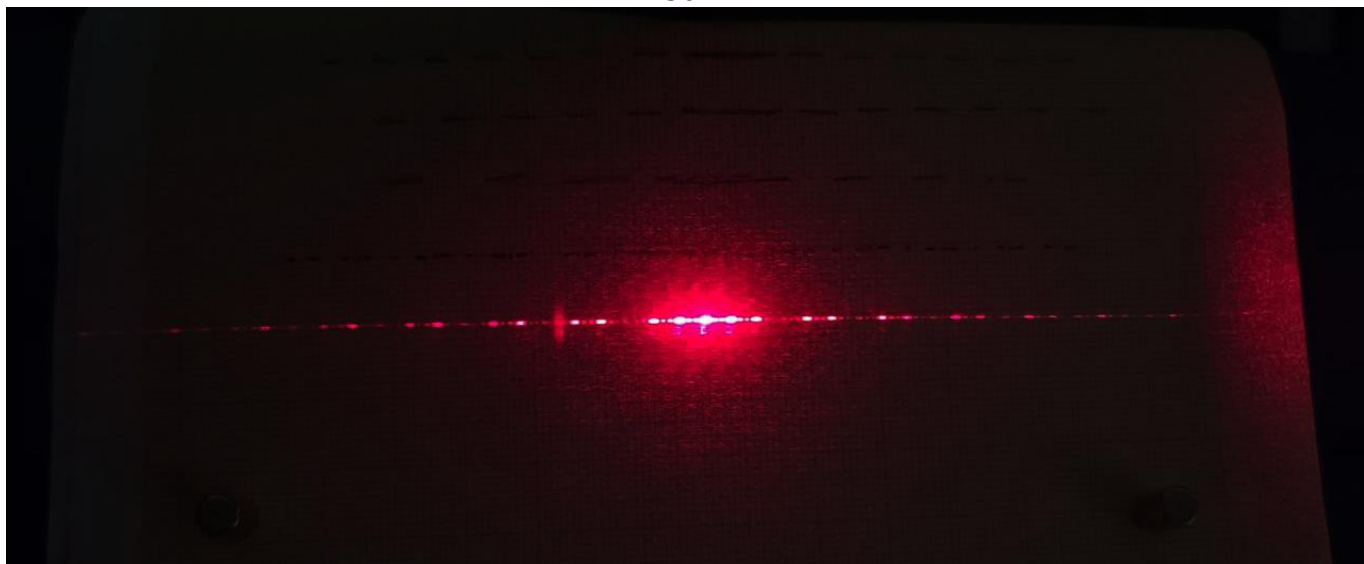


4 щели:

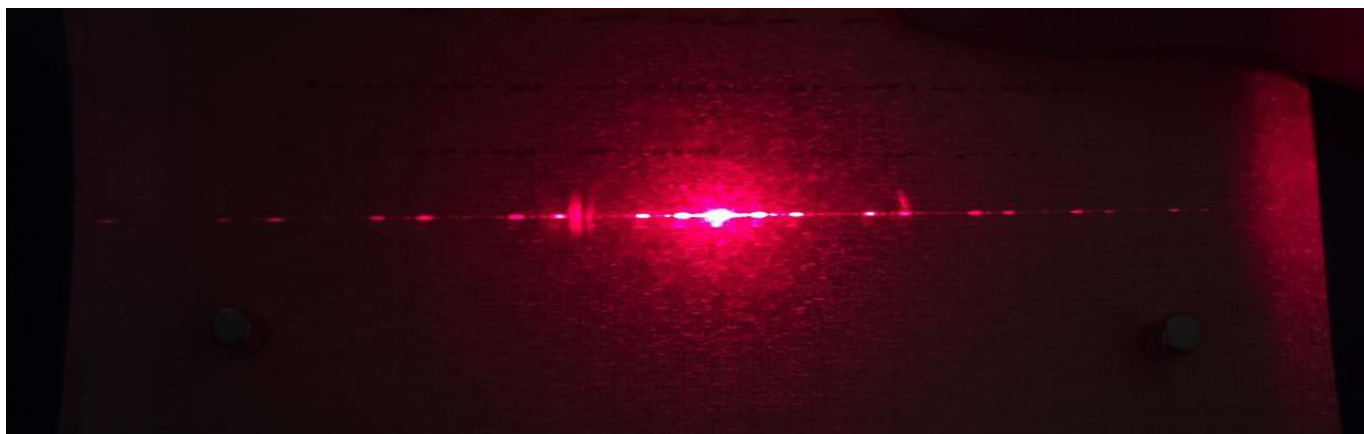
0°



30°

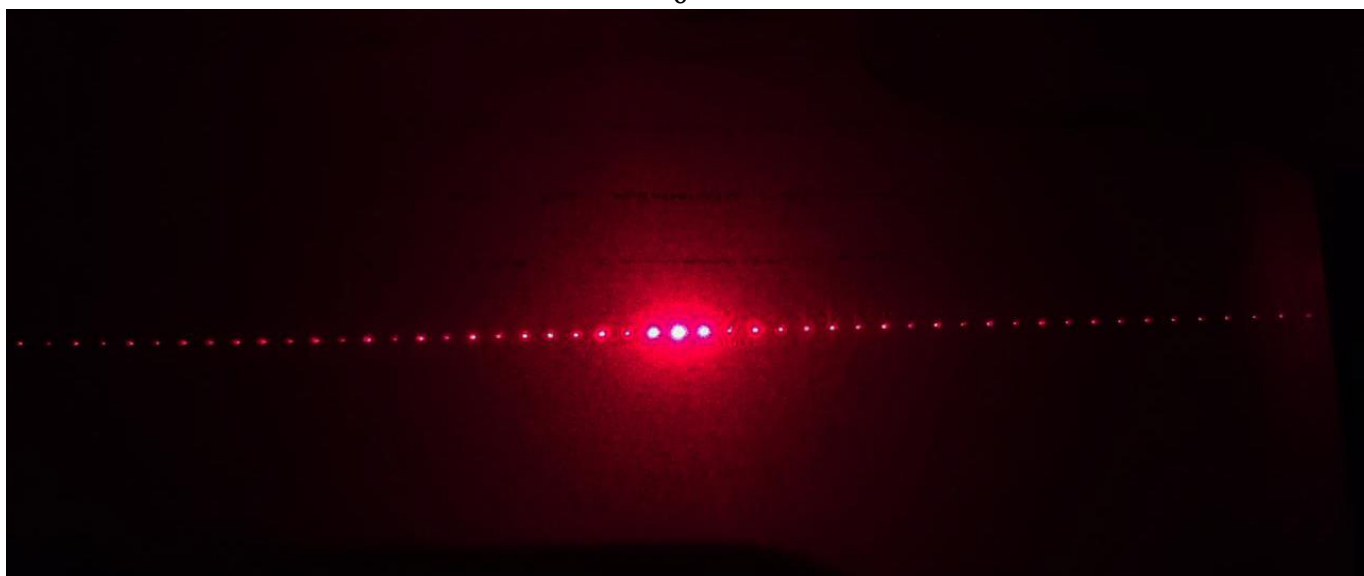


60°

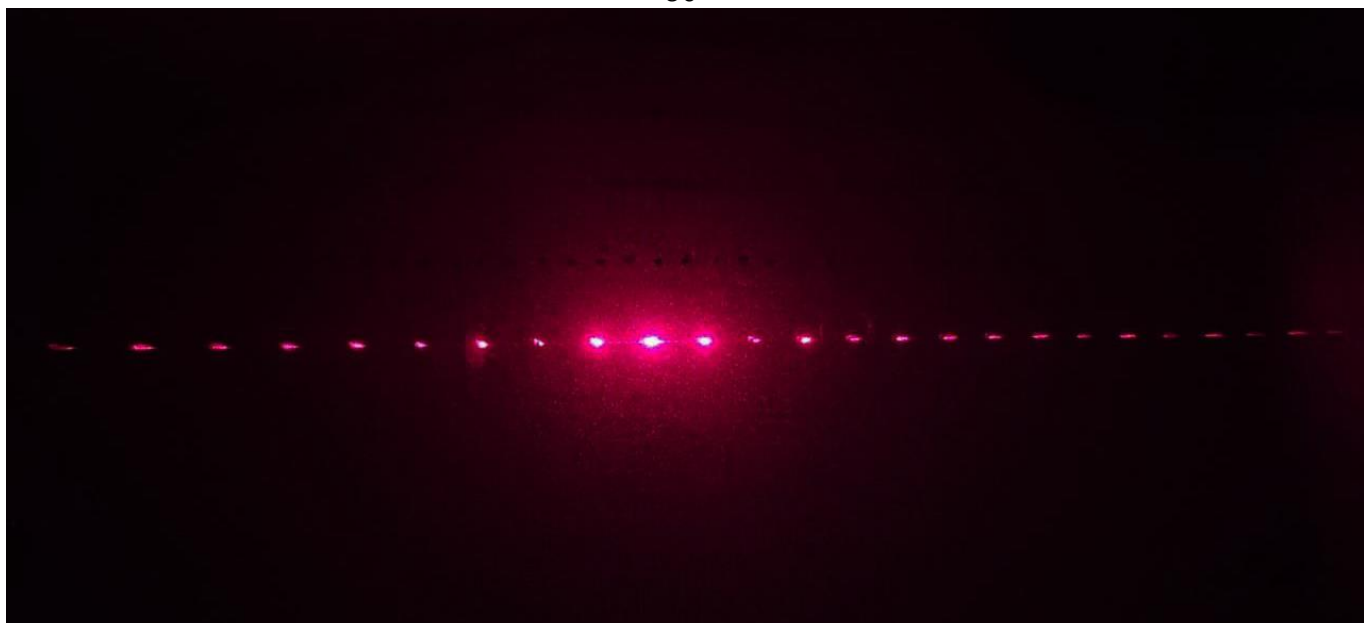


Одномерная решетка:

0°

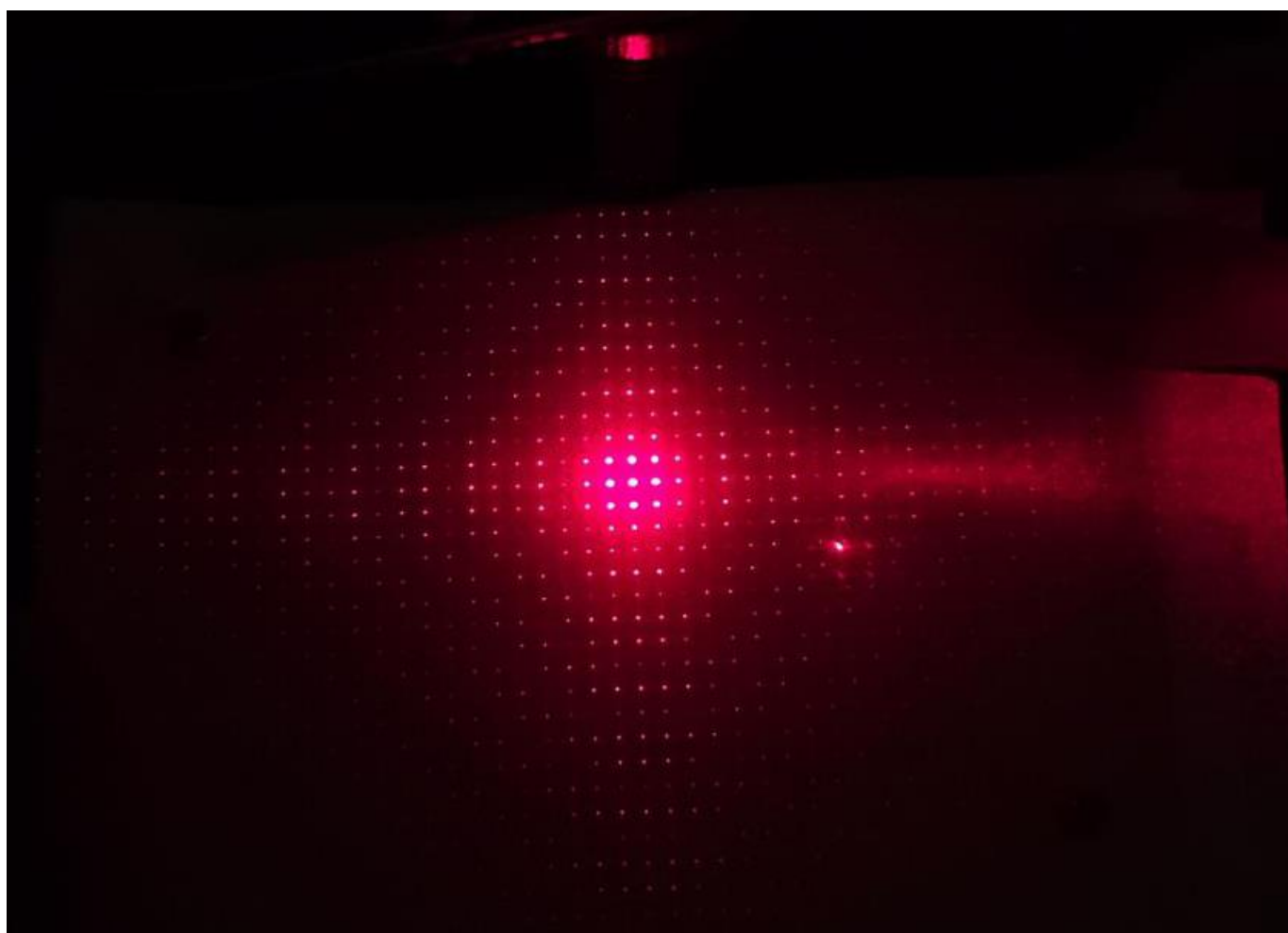


60°

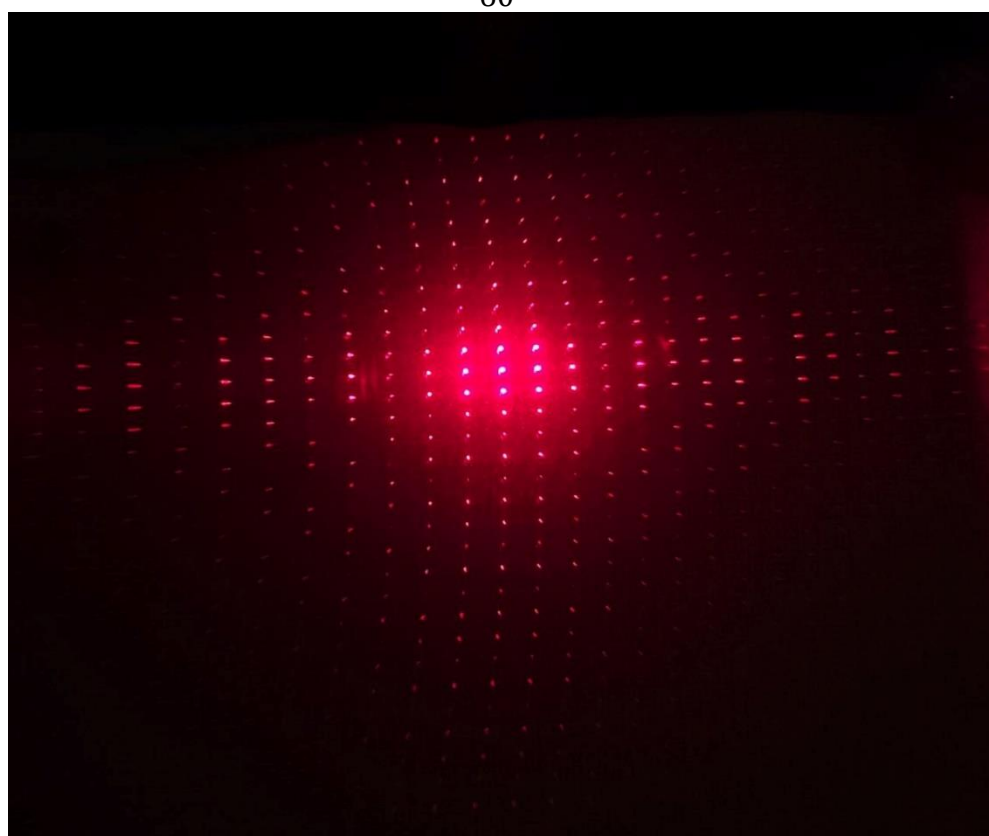


Двумерная решетка:

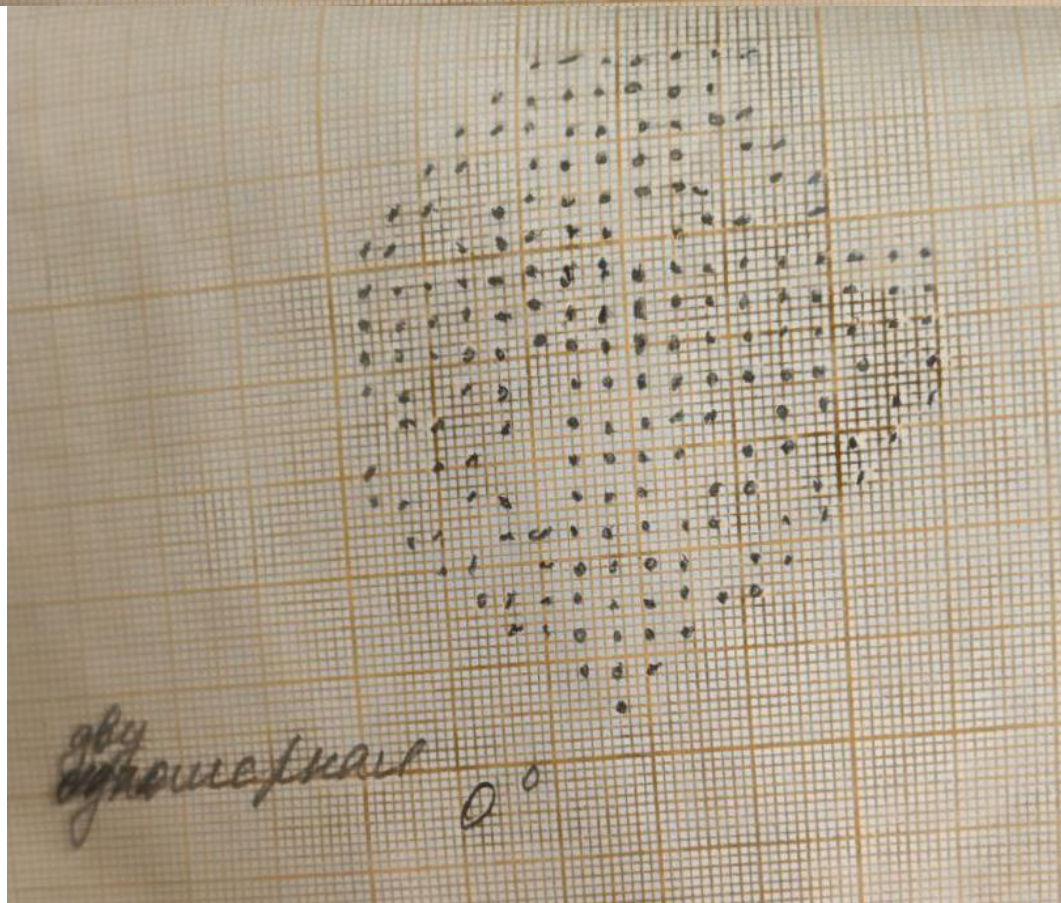
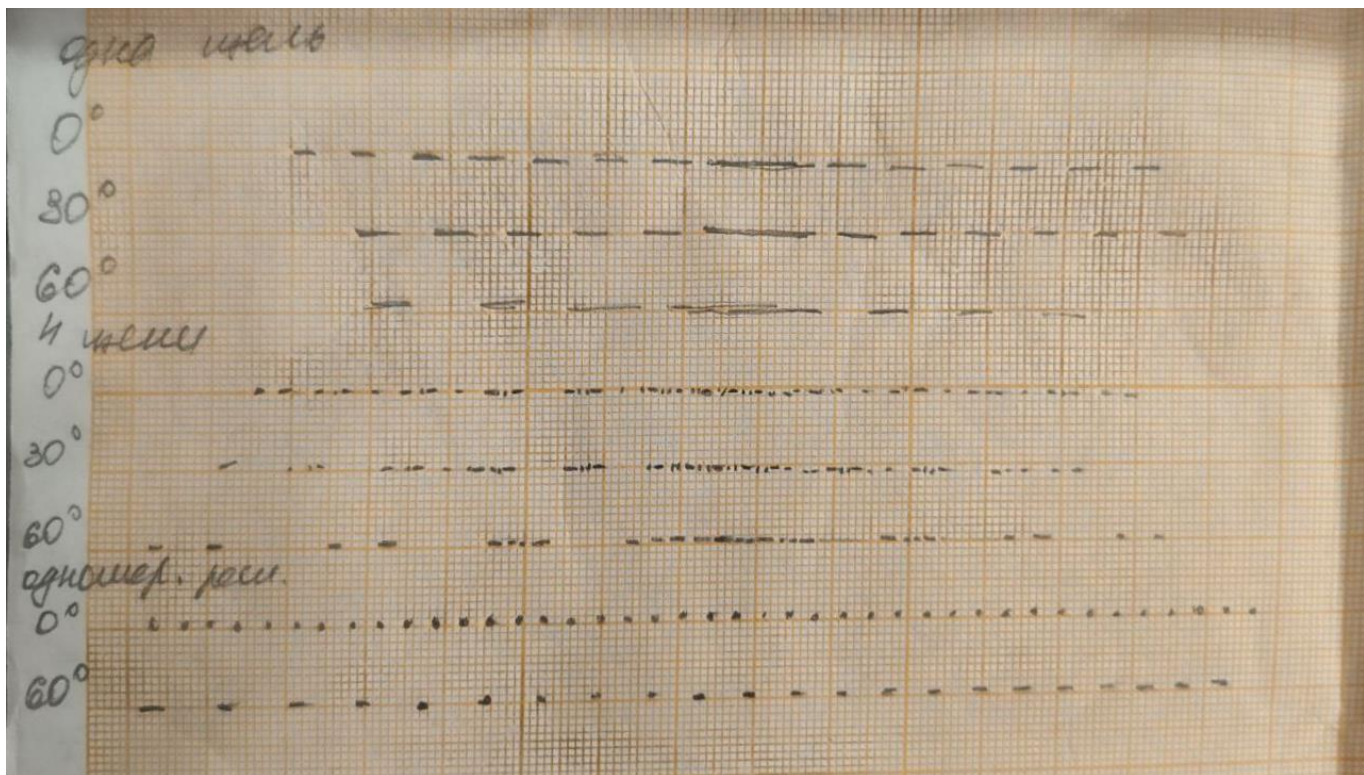
0°



60°



Отображение на миллиметровке:



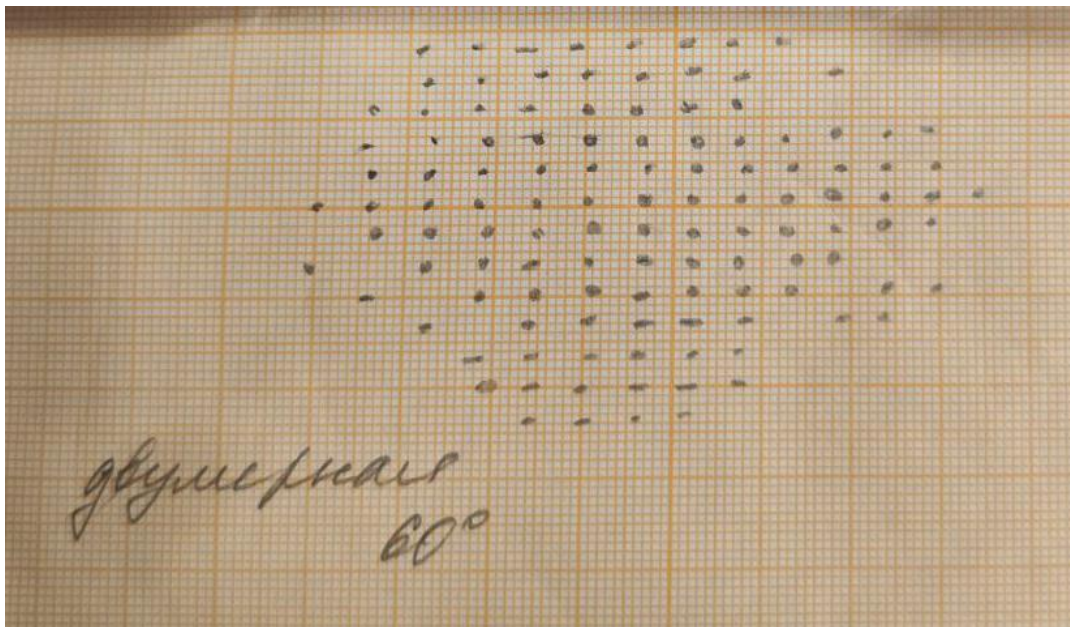


Таблица 1:

Минимумы	Линейное положение, мм	Угловые координаты $\theta, ^\circ$
x_1	6,5	1,01°
x_2	13,5	2,01°
x_3	21	3,02°

1. Определение ширины щели b .

$$b = \frac{2\lambda L}{\Delta x_0}$$

$$b = \frac{2 \times 6,5 \times 10^{-7} \times 0,37}{2 \times 0,0065} = 0,037 \text{ мм}$$

2. Определение угловых координат.

$$\theta = \arcsin \frac{m\lambda}{b}$$

Для первого минимума:

$$\theta = \arcsin \frac{6,5 \times 10^{-7}}{0,000037} = 1,01^\circ$$

Таблица 2:

$L = 370 \text{ мм}$			
$b = 0,037 \text{ мм}$			
Угол поворота щели $\alpha, ^\circ$	0	30	60
$x_1, \text{ мм}$	6,5	8	1,1
$x_2, \text{ мм}$	13,5	1,5	2,3
$x_3, \text{ мм}$	21	2,4	3,4
Относительная интенсивность центрального максимума I/I_0	0,077	0,07	0,065

9. Расчет результатов косвенных измерений.

Таблица 3:

Угол поворота щели $\alpha, ^\circ$	$x_1, \text{ мм}$	$d, \text{ мм}$
0	10	0,024
30	12	0,017
60	17	0,007

1. Определение периода решетки.

$$d' = d \cos \theta$$

$$d' = \frac{\lambda L}{x} \cos \theta$$

Для угла поворота 0° :

$$d' = \frac{0,00065 \times 370}{10} = 0,024 \text{ мм}$$

В результате поворота щелей угол увеличивается, соответственно его косинус уменьшается, из-за чего линии на дифракционной картине становятся более продолжительными, а вместе с ними смещаются и максимумы/минимумы.

Таблица 4:

$\alpha, ^\circ$	$\Delta x_{\text{эксп}}, \text{ мм}$	$\Delta x_{\text{теор}}, \text{ мм}$
0	24	19,713
30	27	22,763
60	30	39,426

1. Определение $d_{\text{сред}}$

$$\Delta x = \frac{2\lambda L}{dN \cos \alpha}$$

$$d = \frac{\lambda L}{\Delta x N \cos \alpha}$$

Для $\alpha = 0^\circ$:

$$d = \frac{2 \times 0,00065 \times 370}{24 \times 4 \cos 0^\circ} = 0,005 \text{ мм}$$

$$d_{\text{сред}} = 0,061 \text{ мм}$$

2. Определение $\Delta x_{\text{теор}}$

$$\Delta x_{\text{теор}} = \frac{2\lambda L}{d_{\text{сред}} N \cos \alpha}$$

Для $\alpha = 0^\circ$:

$$\Delta x_{\text{теор}} = \frac{2 \times 0,00065 \times 370}{0,061 \times 4 \times \cos 0^\circ} = 19,713 \text{ мм}$$

В дифракционной картине видно 3 вторичных минимума и 2 вторичных максимума. Возникают они в результате интерференции волн от 4 щелей.

Таблица 5: Интенсивность центрального максимума на N щелях.

$N, \text{ кол} - \text{ во щелей}$	$\frac{I_N}{J_0}$
1	0,047
2	0,188
3	0,423
4	0,752

1. Определение I_N

$$I_N = N^2 I_\phi$$

$$I_N = N^2 J_{\text{max}}$$

Для $N = 2$:

$$I_2 = 4 \times 0,047 J_0 = 0,188 J_0$$

Таблица 6:

$\alpha, ^\circ$	Координата первого максимума $x, \text{ мм}$	$d, \text{ мм}$
0	4	0,06
60	8	0,06

1. Определение d

$$d' = d \cos \alpha$$

$$d = \frac{m\lambda L}{x}$$

Для $\alpha = 0^\circ$:

$$d_{0^\circ} = \frac{1 \times 0,00065 \times 370}{4} = 0,06 \text{ мм}$$

Для $\alpha = 60^\circ$:

$$d_{60^\circ}' = \frac{m\lambda L}{x_{60^\circ}}$$

$$d_{60^\circ} = \frac{m\lambda L}{x_{60^\circ} \cos 60^\circ}$$

$$d_{60^\circ} = \frac{1 \times 0,00065 \times 370}{8 \cos 60^\circ} = 0,06 \text{ мм}$$

Таблица 7:

$d_1, \text{мм}$	$d_2, \text{мм}$
0,07	0,06

1. Определение d_1, d_2

$$\left\{ \begin{aligned} x_{k_1} &= k_1 \frac{\lambda}{d_1} L \\ x_{k_2} &= k_2 \frac{\lambda}{d_2} L \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} d_1 &= \frac{k_1 \lambda L}{x_{k_1}} \\ d_2 &= \frac{k_2 \lambda L}{x_{k_2}} \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} d_1 &= \frac{0,00065 \times 370}{3,5} = 0,07 \text{ мм} \\ d_2 &= \frac{0,00065 \times 370}{4} = 0,06 \text{ мм} \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} d_1 &= \frac{0,00065 \times 370}{3,5} = 0,07 \text{ мм} \\ d_2 &= \frac{0,00065 \times 370}{4} = 0,06 \text{ мм} \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} d_1 &= \frac{0,00065 \times 370}{3,5} = 0,07 \text{ мм} \\ d_2 &= \frac{0,00065 \times 370}{4} = 0,06 \text{ мм} \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} d_1 &= \frac{0,00065 \times 370}{3,5} = 0,07 \text{ мм} \\ d_2 &= \frac{0,00065 \times 370}{4} = 0,06 \text{ мм} \end{aligned} \right.$$

Для одномерной дифракционной решетки картины при 0° и 60° отличаются. При 60° полосы становятся шире и дальше друг от друга, поскольку при уменьшении эффективного периода d' увеличивается расстояние между максимумами (из условия $d \sin \theta = m\lambda$).

Для двумерной дифракционной решетки ситуация аналогичная, при 60° форма решетки точек растягивается вдоль направления наклона, так как он вызывает искажение проекции периодов d_1 и d_2 , что влияет на симметрию (так как точки смещаются).

10. Расчет погрешностей измерений.

1. Погрешность ширины щели b

$$b = \frac{2\lambda L}{\Delta x_0}$$

$$\Delta_b = b \sqrt{\left(\frac{\Delta \lambda}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \Delta x_0}{\Delta x_0}\right)^2}$$

$$\Delta_b = 0,037 \sqrt{\left(\frac{1}{650}\right)^2 + \left(\frac{1}{370}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{2 \times 6,5}\right)^2} \approx 0,0003 \text{ мм}$$

2. Погрешность угловых координат минимумов

$$\theta = \arcsin \frac{m\lambda}{b}$$

$$\Delta \theta = \sqrt{\left(\frac{\partial \theta}{\partial \lambda} \Delta \lambda\right)^2 + \left(\frac{\partial \theta}{\partial b} \Delta b\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{m \Delta \lambda}{b \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{b}\right)^2}}\right)^2 + \left(\frac{m \lambda \Delta b}{b^2 \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{b}\right)^2}}\right)^2}$$

Для первого минимума:

$$\Delta \theta = \sqrt{(0,017)^2 + (0,46 \times 0,0003)^2} \approx 1^\circ$$

Для второго минимума:

$$\Delta \theta = \sqrt{(0,034)^2 + (0,46 \times 0,0006)^2} \approx 2^\circ$$

Аналогично для третьего минимума:

$$\Delta \theta \approx 3^\circ$$

3. Погрешность периода решетки d

$$d = \frac{\lambda L}{x \cos \alpha}$$

$$\Delta_d = d \sqrt{\left(\frac{\Delta \lambda}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \cos \alpha}{\cos \alpha}\right)^2}$$

Для $\alpha = 0^\circ$:

$$\Delta_d = 0,024 \sqrt{\left(\frac{1}{650}\right)^2 + \left(\frac{1}{370}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{10}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{\cos 1^\circ}}{\cos 0^\circ}\right)^2} \approx 0,00024 \text{ мм}$$

Для $\alpha = 30^\circ$:

$$\Delta_d = 0,024 \sqrt{\left(\frac{1}{650}\right)^2 + \left(\frac{1}{370}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{10}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{\cos 1^\circ}}{\cos 30^\circ}\right)^2} \approx 0,00025 \text{ мм}$$

Аналогично для $\alpha = 60^\circ$:

$$\Delta_d \approx 0,00034 \text{ мм}$$

4. Погрешность относительной интенсивности $\frac{J}{J_0}$

Для 1 щели:

$$\Delta_{\frac{J}{J_0}} = 0,047 \times 0,00001 = 4,7 \times 10^{-7}$$

Для 2 щелей:

$$\Delta_{\frac{J}{J_0}} = 1,88 \times 10^{-6}$$

Для 3 щелей:

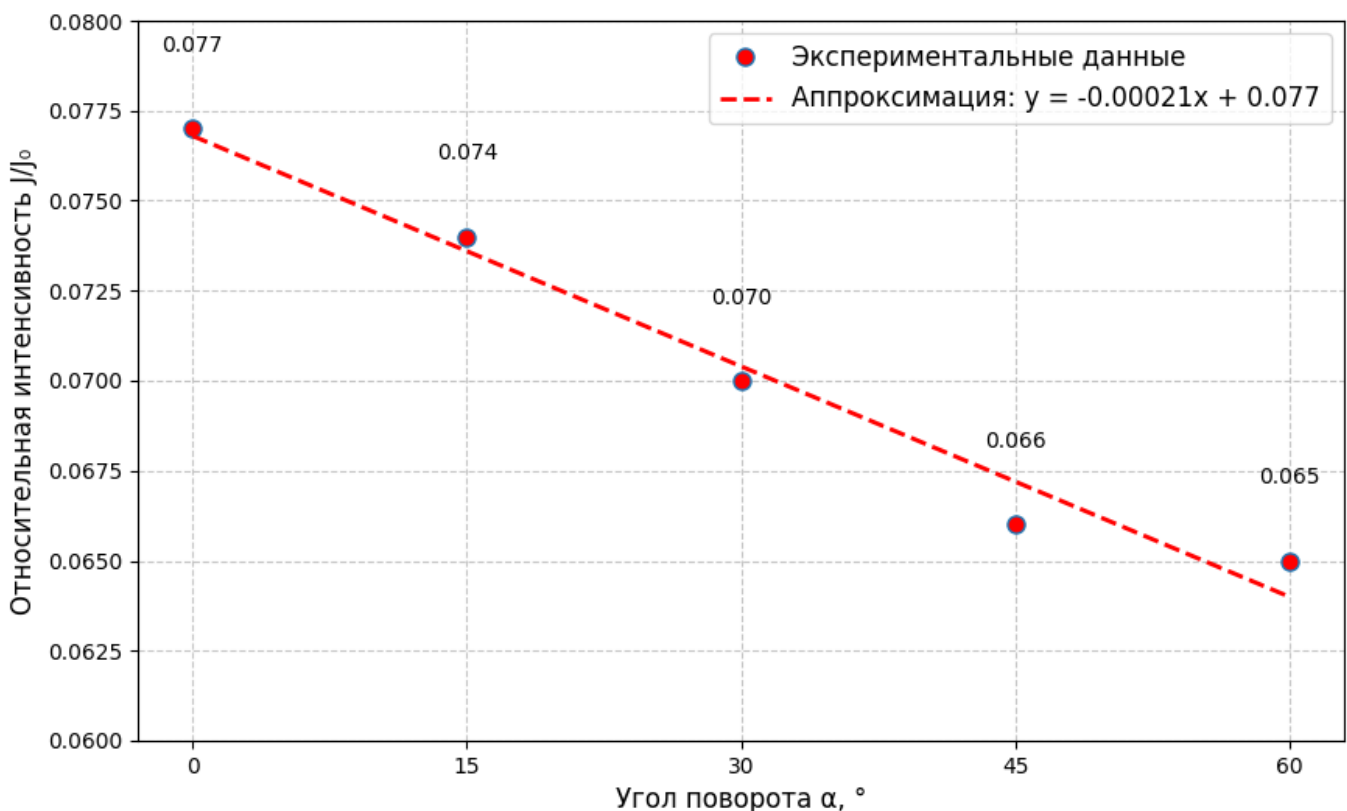
$$\Delta_{\frac{J}{J_0}} = 4,23 \times 10^{-6}$$

Для 4 щелей:

$$\Delta_{\frac{J}{J_0}} = 7,52 \times 10^{-6}$$

11. Графики.

График 1: Зависимость относительной интенсивности J/J_0 от угла поворота α .
Зависимость J/J_0 от угла поворота α



12. Окончательные результаты.

Размеры щели:

$$b_{\alpha=0^\circ} = (0,037 \pm 0,0003) \text{ мм}$$

Ширина центрального дифракционного максимума:

$$\Delta x_{\text{теор}} = 24 \text{ мм}$$

13. Выводы и анализ результатов работы.

В ходе лабораторной работы изучены особенности дифракции Фраунгофера на одной щели, четырёх щелях, одномерной и двумерной решётках. Экспериментально определены ширина щели ($b = 0,037$ мм), периоды решёток ($d_1 = 0,06$ мм и $d_2 = 0,07$ мм), а также исследовано распределение интенсивности в дифракционных картинах. Установлено, что при наклонном падении лучей эффективный период решётки уменьшается ($d' = d \cos \theta$), что приводит к увеличению расстояния между максимумами.

15. Замечания преподавателя (*исправления, вызванные замечаниями преподавателя, также помещают в этот пункт*).