

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
ФИЗТЕХ-ШКОЛА РАДИОТЕХНИКИ И КИБЕРНЕТИКИ

Дифракция света на периодических структурах (саморепродукция).

Работу выполнил:
Шурыгин Антон Алексеевич, группа Б01-909

Долгопрудный, 2021

Содержание

1	Введение и краткая теория	3
2	Схема установки	4
3	Ход работы	5
3.1	Измерение периода решеток по их пространственному спек- тру	5
3.2	Измерение периода решеток по изображению, увеличенного с помощью линзы	5
3.3	Исследование саморепродукции с помощью сеток	7
3.4	Исследование миры	7

Цель работы: Изучение явления саморепродукции и применение его к измерению параметров периодических структур.

Оборудование: лазер, кассета с сетками, мира, короткофокусная линза с микрометрическим винтом, экран, линейка.

1 Введение и краткая теория

При дифракции на предмете с периодической структурой наблюдается явление саморепродукции: на некотором расстоянии от предмета вдоль направления распространения волны появляется изображение, которое потом периодически повторяется.

Представим волну за периодическим объектом в виде суммы плоских волн разных направлений. Отдельные слагаемые плоские волны называют пространственными гармониками. Вдоль пути распространения волнового фронта на некотором расстоянии z_0 от предмета существует плоскость, где разность фазовых набегов любых пространственных гармоник (плоских волн идущих под углом θ к оси распространения), входящих в состав суперпозиции, кратна 2π . В этой плоскости фазовые соотношения между всеми плоскими волнами, входящими в состав суперпозиции, такие же, что и в предметной плоскости. Поэтому в результате интерференции этих волн возникает изображение, тождественное исходному периодическому объекту. Все сказанное справедливо для любого расстояния z_n , кратного z_0 . Для решетки с периодом d .

$$z_n = \frac{2d^2}{\lambda} n \quad (1)$$

Суть эксперимента по саморепродукции состоит в том, что дифрагированная на периодическом транспаранте (решетка, сетка) плоская монохроматическая волна лазера (лазерный пучок) воспроизводит изображение транспаранта без каких-либо оптических элементов.

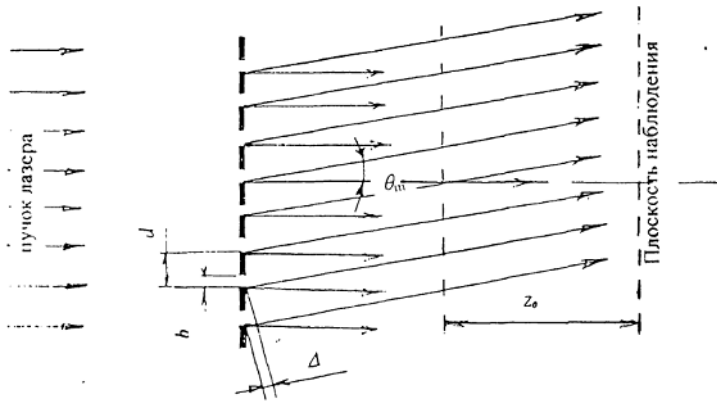


Рис. 1 Дифракция лучей на сетке и возникновение саморепродуцированного изображения

2 Схема установки

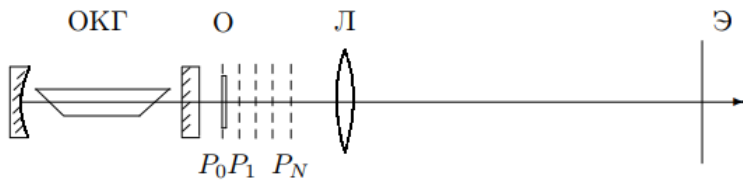


Рис. 2 Схема лабораторной установки

3 Ход работы

3.1 Измерение периода решеток по их пространственному спектру

Расстояние от кассеты до экрана $L = 124 \text{ см}$, $\lambda = 560 \text{ нм}$.

$$d \sin(\theta_x) = m_x \lambda, \quad d \sin(\theta_y) = m_y \lambda \quad (2)$$

$n_{\text{сетки}}$	$X_m, \text{ мм}$	m	$x, \text{ мм}$	$d, \text{ мм}$	$\sigma_d, \text{ мм}$
1	201	6	33.50	0.020	<0.001
2	223	9	24.77	0.027	<0.001
3	177	16	11.1	0.061	0.001
4	235	24	9.79	0.069	0.001
5	63	16	3.93	0.174	0.007

Таблица 1 Измерение расстояние между соседними дифр. макс. на экране

Полагая $\sin(\theta) \simeq \theta \simeq \frac{x}{L}$, найдем с помощью формул (1) период каждой решетки.

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

Измерения и результаты вычисления периоды дифракционной решетки занесены в таблицу 1.

3.2 Измерение периода решеток по изображению, увеличенного с помощью линзы

Найдем период решетки другим способом.

Измеренные расстояния: между сеткой и экраном - $a' = 131 \text{ см} \rightarrow$ между линзой и сеткой - $a = a' - b = 6 \text{ см}$, между линзой и экраном - $b = 125 \text{ см}$.

$n_{\text{сетки}}$	$x_m, \text{ мм}$	m	$D, \text{ мм}$	$d, \text{ мм}$	$\sigma_d, \text{ мм}$
1	-	-	-	-	-
2	3.5	6	0.58	0.027	0.005
3	9.0	6	1.5	0.069	0.013
4	12.0	4	3.0	0.137	0.025
5	16.0	4	4.0	0.183	0.033

Таблица 2 Определение размера клеток D

$$d = \frac{a}{b} \cdot D$$

Таким образом по формуле выше находим период решетки и записываем результат в таблицу 2.

3.3 Исследование саморепродукции с помощью сеток

Исследуем саморепродукцию. Находим координаты z_n плоскостей саморепродукции, строим график. По коэффициенту наклона прямой графика определим период решетки по формуле:

$$d_i = \sqrt{\frac{k_i \lambda}{2}} \quad (3)$$

	z_3, mm	z_4, mm	z_5, mm		
1	-	4	8,1	6,4	21,5
2	-	8,55	15,1	22,1	43,5
3	-	12,2	22	33,2	65,5
4	-	17,55	28,5	49,2	-
5	-	20,55	35,2	59,7	-
6	-	23,6	42	-	-
7	-	28,8	49	-	-
8	-	-	55,5	-	-

Таблица 3 Измерение номера дифракционной картины от координаты линзы

$n_{\text{сетки}}$	1	2	3	4	5
d, mm	-	0,034	0,043	0,061	0,077

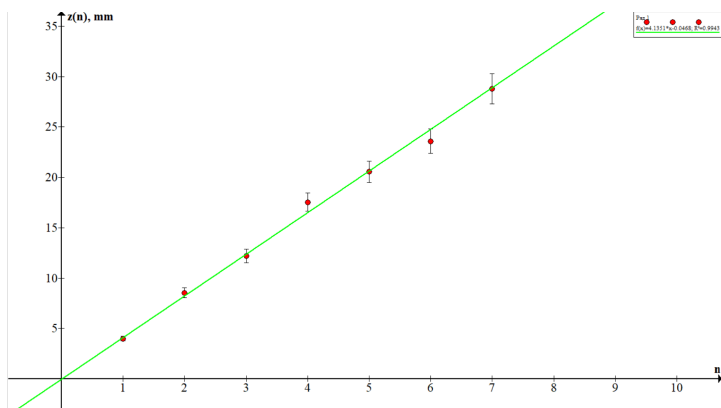
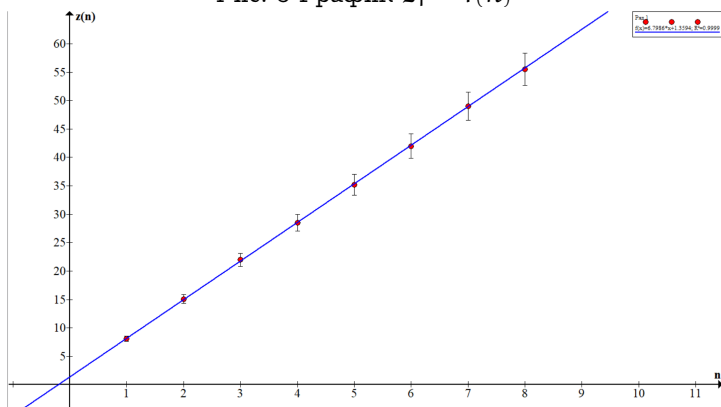
Таблица 4 Результаты вычисления периода дифракционных решеток

Измерения и полученные значения сводим в таблицу 3. Затем строим графики $z = f(n)$.

3.4 Исследование миры

Измеряем расстояние между экраном и линзой - L_3 , экраном и ми-рой - L_4 . Получаем, что $L_3 = 126\text{cm}$, $L_4 = 132\text{cm}$.

Ширина штриха миры равна 1mm .

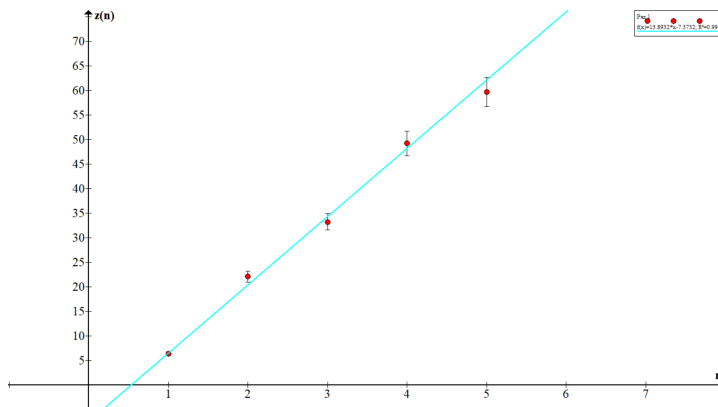
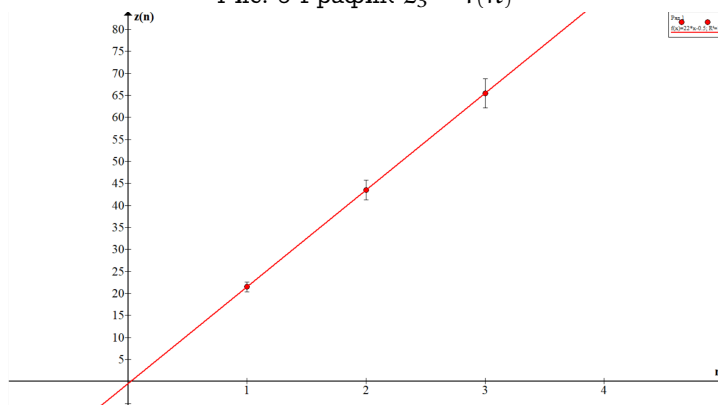
Рис. 3 График $z_1 = f(n)$ Рис. 4 График $z_2 = f(n)$

Исследование мира с номером 25

Построим график координат плоскостей саморепродукции. Наклон графика $\frac{dz_n}{dn} = 2.97$ мм - расстояние между соседними плоскостями саморепродукции.

Тогда период решетки мира по формуле $d = \sqrt{\frac{dz_n}{dn} \frac{\lambda}{2}} = 0.028$ мм

Измеряем расстояние между экраном и линзой - $L_3 = 126$ см, экра-

Рис. 5 График $z_3 = f(n)$ Рис. 6 График $z_4 = f(n)$

ном и мирой - $L_4 = 132$ см. Вернув изображение, соотв. геом. оптике, измерим ширину увеличенного изображения штриха $D = \frac{17_{\text{мм}}}{17} = 1$ мм, откуда $d = D \cdot \frac{L_3 - L_4}{L_3} = 0.048$ мм.

Убрав линзу, пронаблюдаем интерференцию на мире, и получим расстояние между дифр. максимумами $\chi = \frac{250_{\text{мм}}}{14} = 17.85$ мм, откуда получим $d = \frac{\lambda L}{\chi} = 0.040$ мм

Исследование мира с номером 20

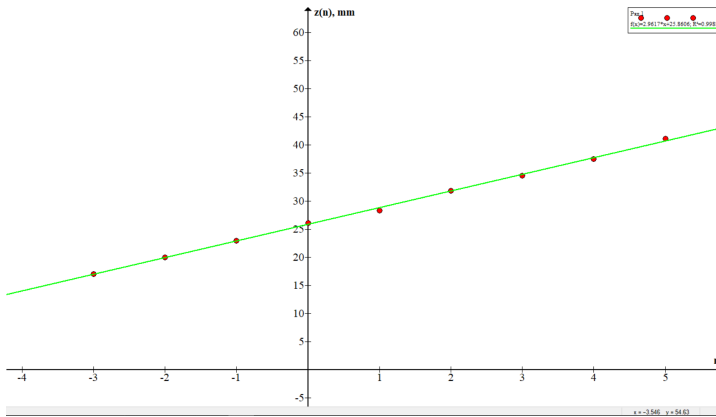
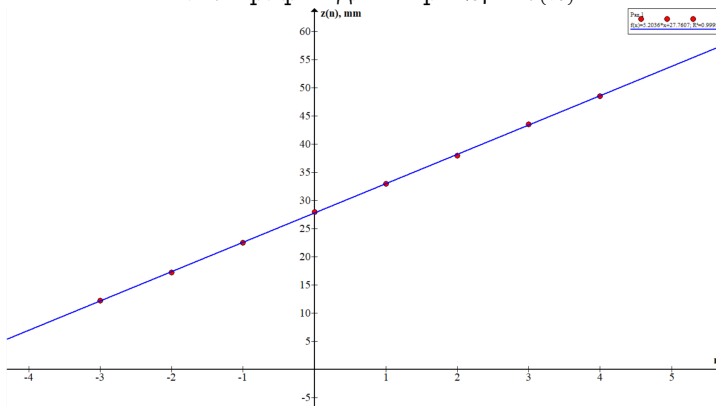
Построим график координат плоскостей саморепродукции. Наклон графика $\frac{dz_n}{dn} = 5.20$ мм - расстояние между соседними плоскостями саморепродукции. Тогда период решетки мира по формуле $d = \sqrt{\frac{dz_n}{dn} \frac{\lambda}{2}} = 0.037$ мм

Вернув изображение, соотв. геом. оптике, измерим ширину увеличенного изображения штриха $D = \frac{17_{\text{мм}}}{13} = 1.31$ мм, откуда $d = D \cdot \frac{L_3 - L_4}{L_3} = 0.059$ мм.

Убрав линзу, пронаблюдаем интерференцию на мире, и получим расстояние между дифр. максимумами $\chi = \frac{243_{\text{мм}}}{17} = 14.29$ мм, откуда получим $d = \frac{\lambda L}{\chi} = 0.050$ мм

n	$z_n(25), \text{mm}$	$z_n(20), \text{mm}$
-3	17	12,2
-2	20	17,2
-1	23	22,5
0	26,1	28
1	28,3	33
2	31,9	38
3	34,5	43,5
4	37,5	48,5
5	41,1	-

Таблица 5 Исследование решеток мира

Рис. 7 График для мира $z_1 = f(n)$ Рис. 8 График для мира $z_2 = f(n)$