

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  
группа Б01-909

Долгопрудный, 2021

# Содержание

<b>1</b>	<b>Введение и краткая теория . . . . .</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Схема установки . . . . .</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Ход работы . . . . .</b>	<b>5</b>
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 . . . . .	6
3.4	Исследование миры . . . . .	6

**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  $\theta$  к оси распространения), входящих в состав суперпозиции, кратна  $2\pi$ . 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.

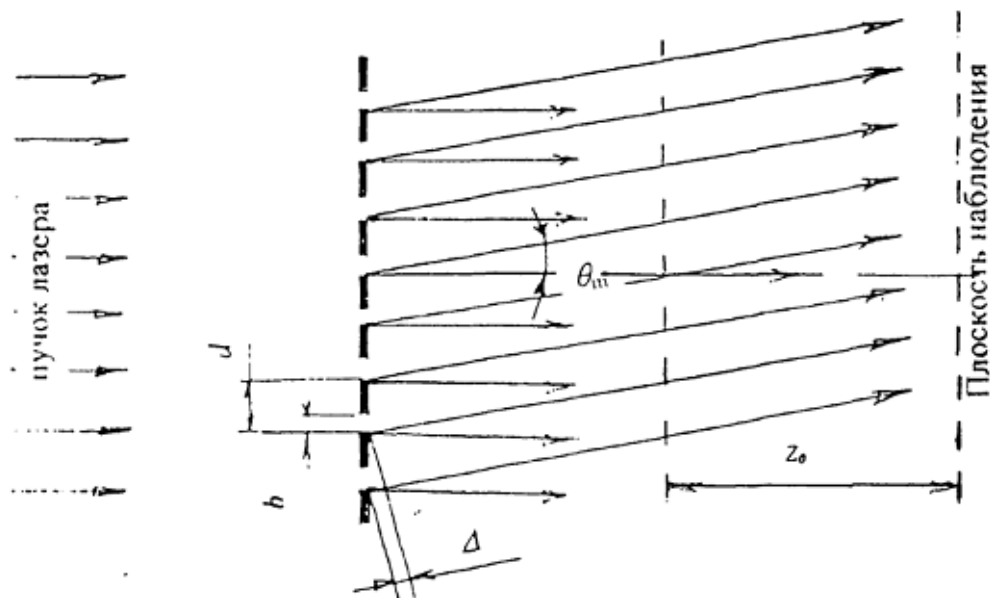


Рис. 1 Дифракция лучей на сетке и возникновение саморепродуцированного изображения

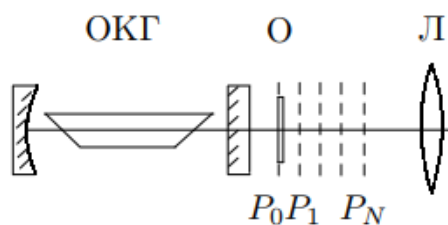


Рис. 2 Схема лабораторной установки

## 2 Схема установки

## 3 Ход работы

### 3.1 Измерение периода решеток по их пространственному спектру

$n_{\text{сетки}}$	$X_m, \text{mm}$	$m$	$x, \text{mm}$	$d, \text{mm}$
1	201	6	33,5	0,02
2	223	9	24,8	0,027
3	177	16	11,06	0,061
4	235	24	9,8	0,069
5	63	16	3,9	0,174

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

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

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

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.

$n_{\text{сетки}}$	$x_m, \text{mm}$	$m$	$D, \text{mm}$	$d, \text{mm}$
1	-	-	-	-
2	3,5	6	0,58	0,027
3	9	6	1,5	0,072
4	12	4	3	0,144
5	16	4	4	0,192

Таблица 2 Определение размера клеток D

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

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

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:

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

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 миной -  $L_4$ . Получаем, что  $L_3 = 126 \text{ cm}$ ,  $L_4 = 132 \text{ cm}$ .

Ширина штриха миры равна  $1 \text{ mm}$ .

n	$z_1, \text{mm}$	$z_2, \text{mm}$	$z_3, \text{mm}$	$z_4, \text{mm}$	$z_5, \text{mm}$
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
$d, \text{mm}$	-	0,034	0,043	0,061	0,077

Таблица 4 Результаты вычисления периода дифракционных решеток

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

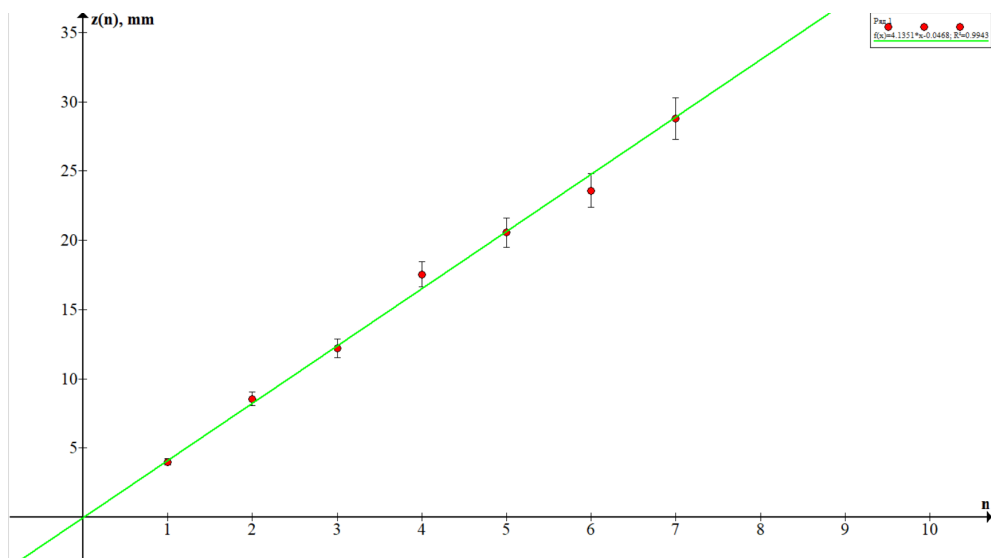


Рис. 3 График  $z_1 = f(n)$



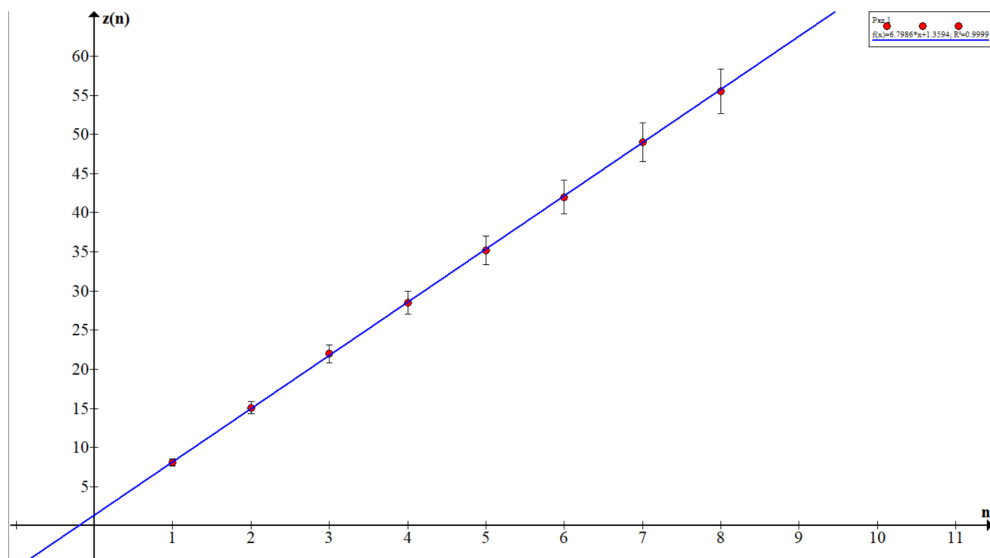


Рис. 4 График  $z_2 = f(n)$

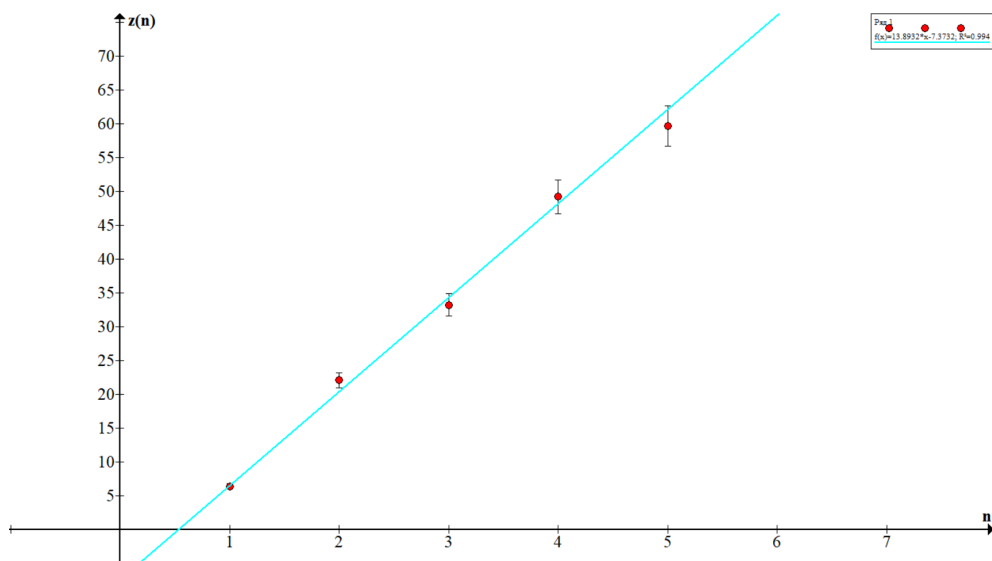
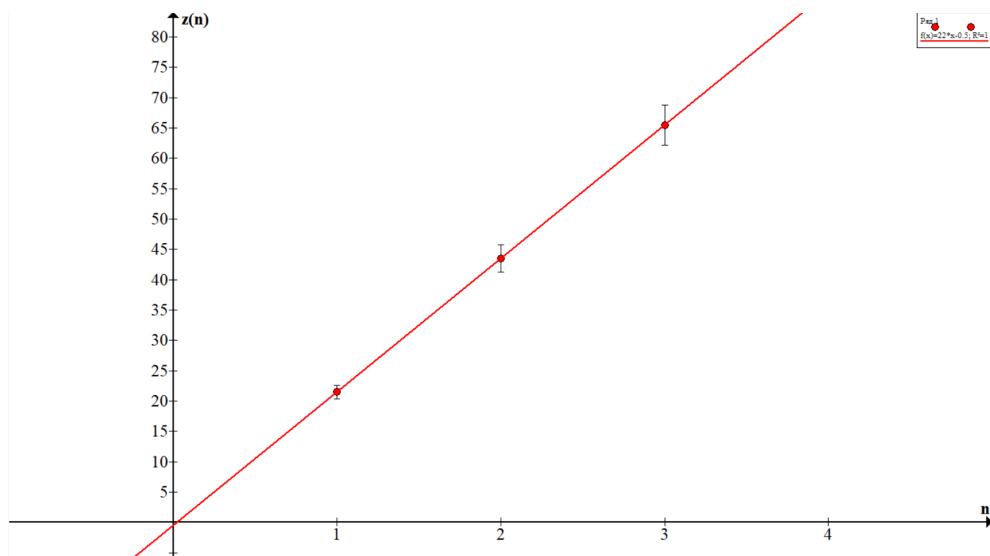


Рис. 5 График  $z_3 = f(n)$

Рис. 6 График  $z_4 = f(n)$