

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

# Дифракция света на периодических структурах (саморепродукция)

выполнили студенты 653 группы ФФКЭ

Карпова Татьяна

Агафонов Владислав

Долгопрудный, 2018 г.

## 1 Цель работы:

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

## 2 В работе используются:

- лазер
- кассета с сетками
- мира
- короткофокусная линза с микрометрическим винтом
- экран
- линейка

## 3 Теоретические положения

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.

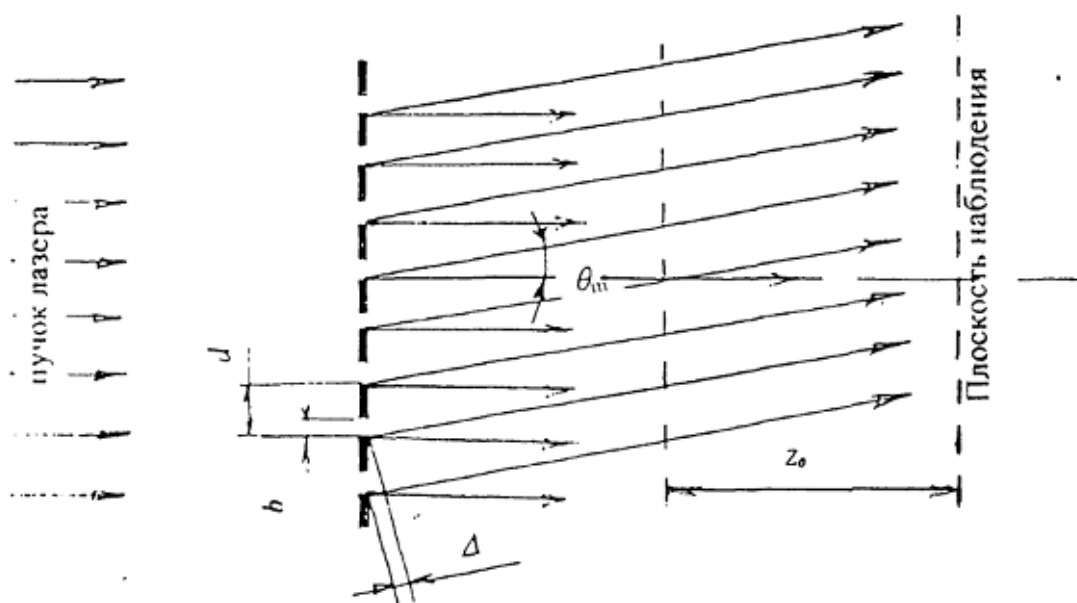


Рис. 1: Дифракция лучей на сетке и возникновение саморепродуцированного изображения

## 4 Схема установки

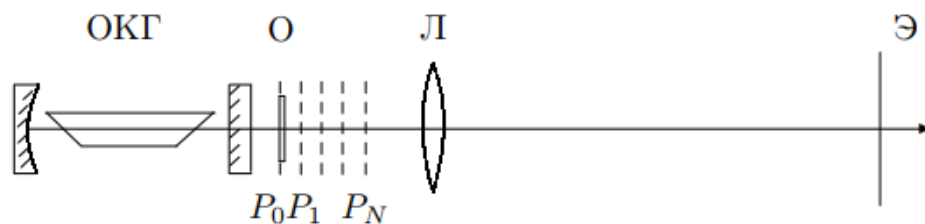


Рис. 2: Схема лабораторной установки

## 5 Ход работы

### 5.1 Определение периода решёток по их пространственному спектру

Измерим расстояние между соседними дифракционными максимумами и рассчитаем период каждой решётки:

$$d = \frac{\lambda L}{x}, \quad (2)$$

где  $x$  - расстояние между соседними максимумами,  $L$  - расстояние между решёткой и экраном,  $\lambda$  - длина волны лазера. Результаты занесём в таблицу 1.

Таблица 1: Периоды решёток, метод 1

Номер решётки	1	2	3	4	5
$d$ , мм	0.020	0.030	0.058	0.118	0.168

### 5.2 Определение периода решёток по изображению, увеличенного с помощью линзы

Определим размеры клеток, полученных с помощью линзы, на экране (рассматриваем геометрическое изображение решётки) ( $D$ ). Расстояние от линзы до сетки  $a$ , от линзы до экрана  $b$ , тогда период сетки считается по формуле

$$d = D \frac{a}{b} \quad (3)$$

Результаты измерения периода занесём в таблицу 2.

Таблица 2: Периоды решёток, метод 2

Номер решётки	1	2	3	4
$d$ , мм	0.028	0.054	0.132	0.156

### 5.3 Исследование эффекта саморепродукции с помощью сеток

1. Найдём координаты  $z_n$  плоскостей саморепродукции, построим график  $z_n = f(n)$ , коэффициенту наклона графика  $k$  определим период решётки:

$$d = \sqrt{\frac{k\lambda}{2}} \quad (4)$$

2. Сведём результаты измерения периодов решёток тремя методами в единую таблицу 4

Видим, что значения периодов, полученные при исследовании эффекта саморепродукции, отличаются в меньшую сторону примерно в 1,5 раза.

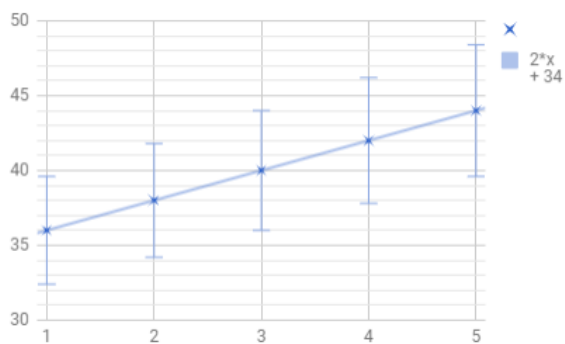


Рис. 3: Зависимость  $z(n)$ , решётка 2

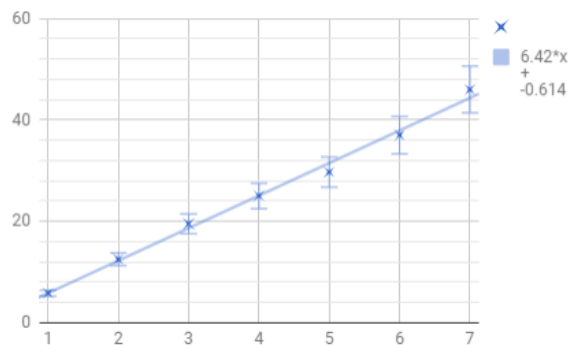


Рис. 4: Зависимость  $z(n)$ , решётка 3

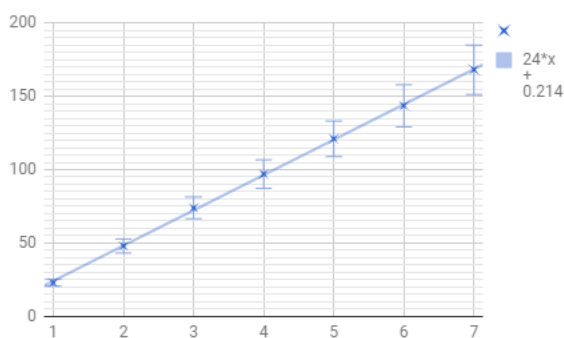


Рис. 5: Зависимость  $z(n)$ , решётка 4

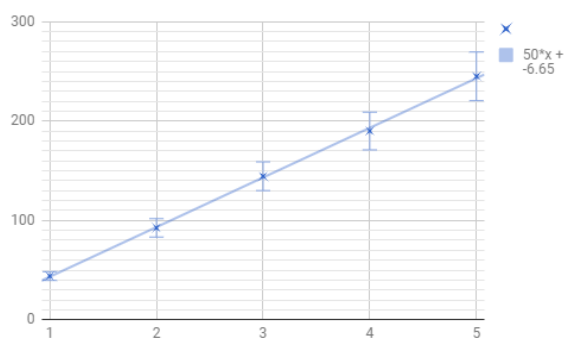


Рис. 6: Зависимость  $z(n)$ , решётка 5

## 5.4 Исследование мира

Установив миру на место кассеты, измерим период одного элемента сначала по саморепродукции, затем по увеличенному изображению и, наконец, по спектру. В таблицу 5 занесём эти результаты для мира с периодами 25 и 20.

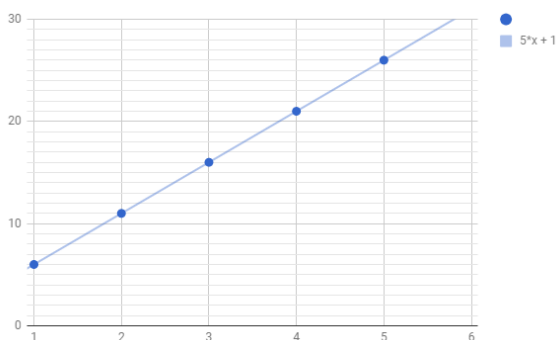


Рис. 7: Зависимость  $z(n)$ , мира 20

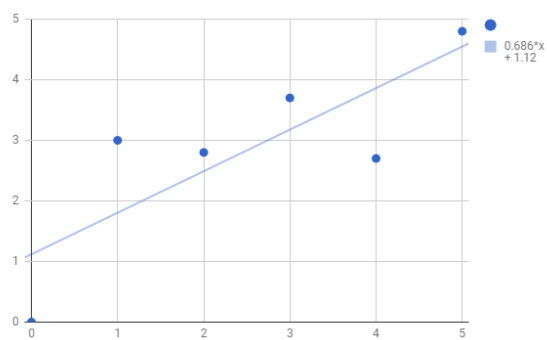


Рис. 8: Зависимость  $z(n)$ , мира 25

Непосредственно нами было проведено измерение мира-20, значения получились с меньшим разбросом.

Таблица 3: Периоды решёток, метод 3

Номер решётки	1	2	3	4
$d$ , мм	0.023	0.041	0.080	0.115

Таблица 4: Сравнение значений периодов, полученных разными способами

Номер решётки	1	2	3	4
$d$ , мм	0.030	0.058	0.118	0.168
$d$ , мм	0.028	0.054	0.132	0.156
$d$ , мм	0.023	0.041	0.080	0.115

## 6 Вывод

В работе изучено явление саморепродукции и его применение к измерению периодов решеток. Параметры данных периодических структур измерены двумя дополнительными методами (по спектру и по увеличенному изображению через линзу). Дополнительные методы измерения дали совпадающие по порядку результаты, а методом саморепродукции результаты уменьшены в 1,5 раза по сравнению с дополнительными измерениями. Результаты измерений и их сравнение представлены в таблицах выше.

Также исследованы параметры элементов мира аналогичными методами. Результаты совпали по порядку величины.

Таблица 5: Сравнение значений периодов мир, полученных разными способами

	Мира 20	Мира 25
Спектр	0.053	0.039
Линза	0.047	0.07
Саморепродукция	0.036	0.013