

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ)

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4.3.6

Саморепродукция

Б03-102

Куланов Александр

Долгопрудный, 2023 г.

- **Цель работы:** изучение явления саморепродукции и применение его к измерению параметров периодических структур
- **В работе используются:** лазер, кассета с сетками, мира, короткофокусная линза с микрометрическим винтом, экран, линейка

1 Экспериментальная установка

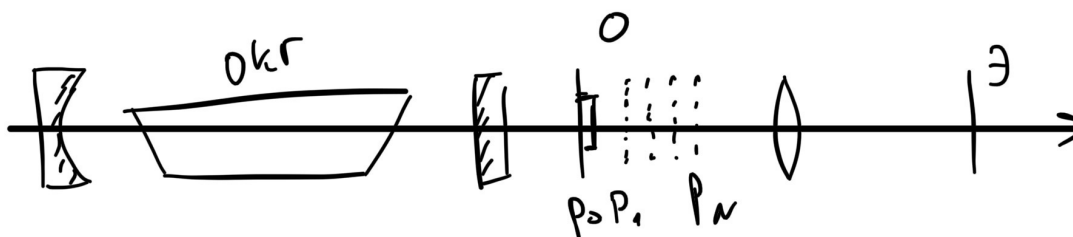


Рис. 1: Экспериментальная установка

ОКГ — гелий-неоновый лазер, 0 — двумерная решетка, P_N — плоскости, где наблюдаются репродуцированные изображения, Л — короткофокусная линза, Э — экран для наблюдения изображения объекта.

За плоскостью P₀ периодически по z возникают изображения объекта, которые с помощью линзы Л можно поочередно проецировать на экран, установленный в плоскости Э. Если убрать линзу, то на экране наблюдается картина дифракции луча на периодическом объекте.

Экран устанавливается достаточно далеко от объекта, так что продифрагированные лучи, соответствующие различным порядкам дифракции, разделяются.

Измерив расстояние от объекта до экрана, можно определить $\sin \varphi$ и d

2 Ход работы и обработка результатов

В работе сделаем следующее:

- определим периоды сеток сначала по их спектру на экране, потом по увеличенному изображению, затем по расстояниям между репродуцированными изображениями
- то же самое для элементов мира

2.1 Исследование двумерных решеток

Определение периода решеток по их пространственному спектру

Поставим перед лазером кассету с двумерными решетками. На экране увидим дифракционную картину. Определим расстояние между соседними максимумами.

Сетка, №	l, мм	m	x, мм
1	36,5	1	36,5
2	50	2	25,0
3	85	7	12,1
4	50	9	5,6
5	60	13	4,6

Таблица 1: Данные

Период решеток можем вычислить по формуле:

$$d = \frac{m\lambda}{\sin \varphi} \approx \frac{\lambda L}{x} \quad (1)$$

где L - расстояние между решеткой и экраном, равное 1349 мм в нашем случае. Длина волны лазера 510 нм.

Сетка, №	d, мм
1	0,019
2	0,028
3	0,057
4	0,124
5	0,149

Таблица 2: Периоды решеток

Определение периода решёток по изображению, увеличенному с помощью линзы

Закрепим короткофокусную линзу на небольшом расстоянии от лазера. Уберем кассету и центрируем систему. Затем установим кассету с сетками между лазером и линзой. Перемещая изображение сетки вдоль оси системы, получим на экране увеличенное изображение сетки.

Наведем резкость на тонкую проволоку на одной из сеток, чтобы наблюдать геометрическое изображение, а не репродуцированное. Определим размеры D клеток на экране. В нашем случае это возможно только для сеток с номерами 2, 3, 4 и 5.

Расстояние от линзы до экрана $b = 1294$ мм. Расстояние от линзы до сетки $a = 55$ мм. По полученным данным рассчитаем периоды сеток по формуле:

$$d = \frac{Da}{b} \quad (2)$$

Сетка, №	D, мм	d, мм
2	0,5	0,021
3	1,5	0,064
4	3	0,128
5	3,5	0,149

Таблица 3: Данные и результаты

Исследование эффекта саморепродукции с помощью сеток

Получим на экране геометрическое изображение сетки. Перемещая линзу с помощью микровинта, определим координаты z_n плоскостей саморепродукции.

Построим графики зависимости z_n от номера решетки. Из формулы

$$z_n = \frac{2d^2n}{\lambda} \quad (3)$$

Выразим d через угол наклона прямой в полученных графиках:

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

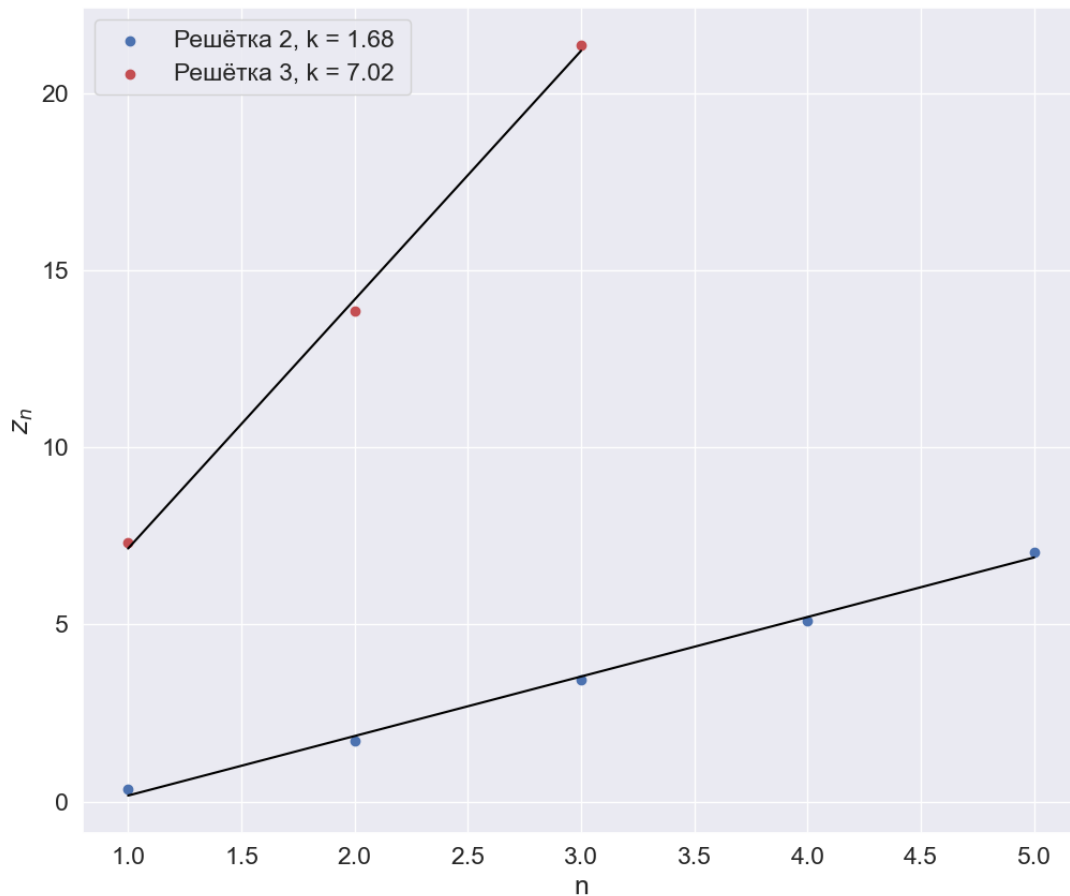


Рис. 2: зависимости z_n от номера n

Сетка, №	d, мм
2	0,020
3	0,042

Таблица 4: Результаты

Выводы

Приведем сводную таблицу по всем методам:

	Спектр	Линза	Саморепродукция
Сетка, №	d, мм		
1	$0,019 \pm 0,005$		
2	$0,028 \pm 0,005$	$0,021 \pm 0,007$	$0,020 \pm 0,005$
3	$0,057 \pm 0,005$	$0,062 \pm 0,008$	$0,042 \pm 0,008$
4	$0,124 \pm 0,005$	$0,134 \pm 0,008$	
5	$0,149 \pm 0,005$	$0,153 \pm 0,007$	

Таблица 5: Сводная таблица

Как можно видеть, первые два способа дают сопоставимые результаты. Третий способ дает немного другие результаты, так как во время выполнения было тяжело визуально наблюдать саморепродукцию. Для некоторых решеток и вовсе не получилось собрать данные. Так же следует сказать, что большую погрешность в результаты внесло определение расстояние до экрана, так как не было линейки подходящей длины.

2.2 Исследование мира

Поставим миру на место решетки в предыдущем пункте. Исследуем саморепродукцию изображения одного из элеметнов мира:

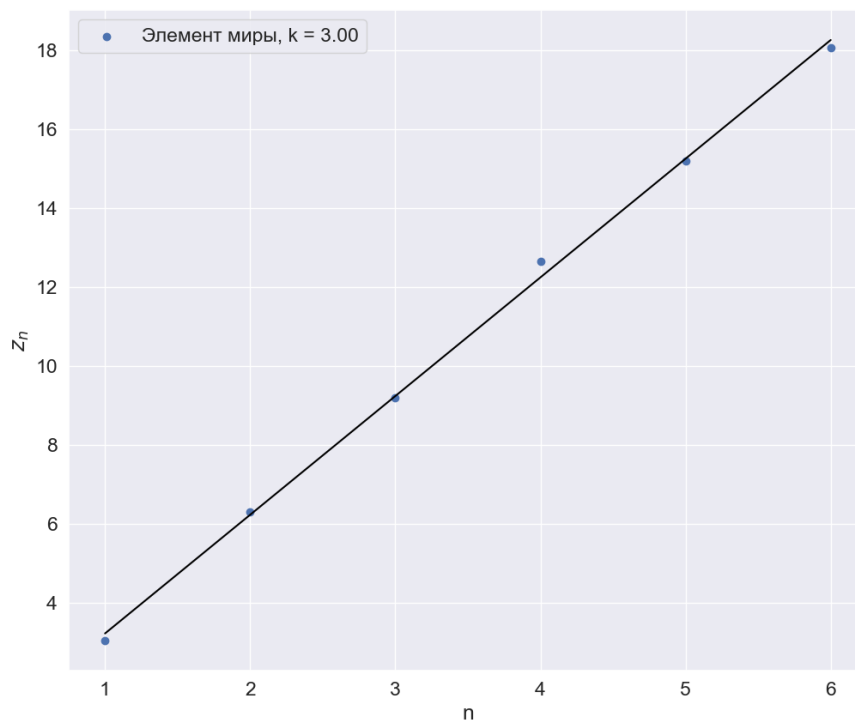


Рис. 3: зависимости z_n от номера n

n	$z_n, \text{ мм}$
1	3,05
2	6,3
3	9,2
4	12,65
5	15,2
6	18,05

Таблица 6: Данные

По формуле 4 найдем d . Получилось

$$d = 0.027 \text{ мм} \quad (5)$$