



Московский Физико-Технический Институт  
(национальный исследовательский университет)

Отчет по эксперименту

---

## Дифракция света на периодических структурах

---

Работа №4.3.6; дата: 08.04.23

Семестр: 4

Выполнил:  
Кошелев Александр

Группа:  
Б05-105

## 1. Введение

### 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.

### Схема установки:

Хорошим приближением к плоской волне в нашем эксперименте является излучение лазера.

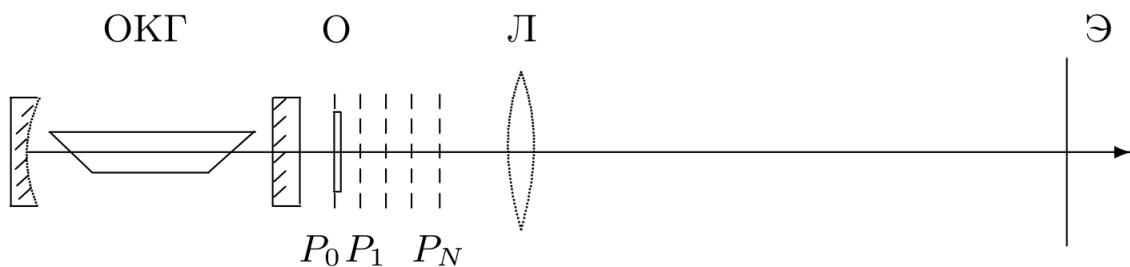


Рис. 1: Схема установки

Луч лазера падает перпендикулярно на периодический объект  $O$ , установленный в плоскости  $P_0$ . За плоскостью  $P_0$  (в плоскостях  $P_1 - P_N$ ) периодически по  $z$  возникают изображения объекта, которые с помощью линзы  $L$  можно поочерёдно проецировать на экран, установленный в плоскости  $\Theta$ . Если убрать линзу, то на экране наблюдается картина дифракции луча лазера на периодическом объекте.

## 2. Теоретическая справка

Экран устанавливается достаточно далеко от объекта, так что продифрагировавшие лучи, соответствующие различным порядкам дифракции ( $\sin \theta_n = n\lambda/d$ ), разделяются.

Измерив расстояние между дифракционными максимумами и расстояние от объекта до экрана, мы определим  $\sin \theta_n$  и  $d$ .

В нашей работе в качестве периодических объектов применяется «мира» – набор различным образом ориентированных одномерных решёток разного периода, а также двумерная решётка-сетка.

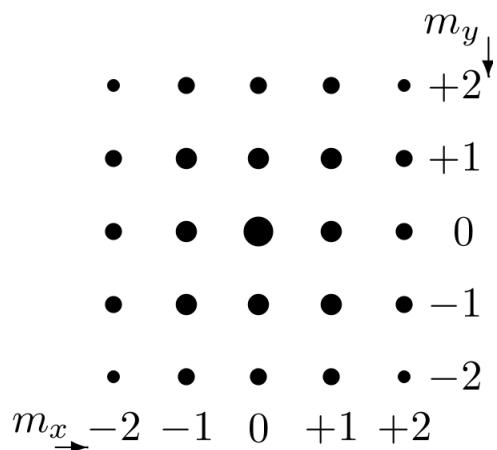


Рис. 2: Спектр решетки-сетки

Сетку можно рассматривать как две взаимно перпендикулярные решётки. Узкий пучок монохроматического света, пройдя через первую решётку с вертикальными штрихами, должен дать совокупность максимумов, расположенных вдоль горизонтальной линии. Световой пучок, соответствующий каждому максимуму, проходя через вторую решётку, распадается на новую совокупность пучков, дающих максимумы вдоль вертикальной линии. В результате главные максимумы возникают тогда, когда одновременно выполняются условия

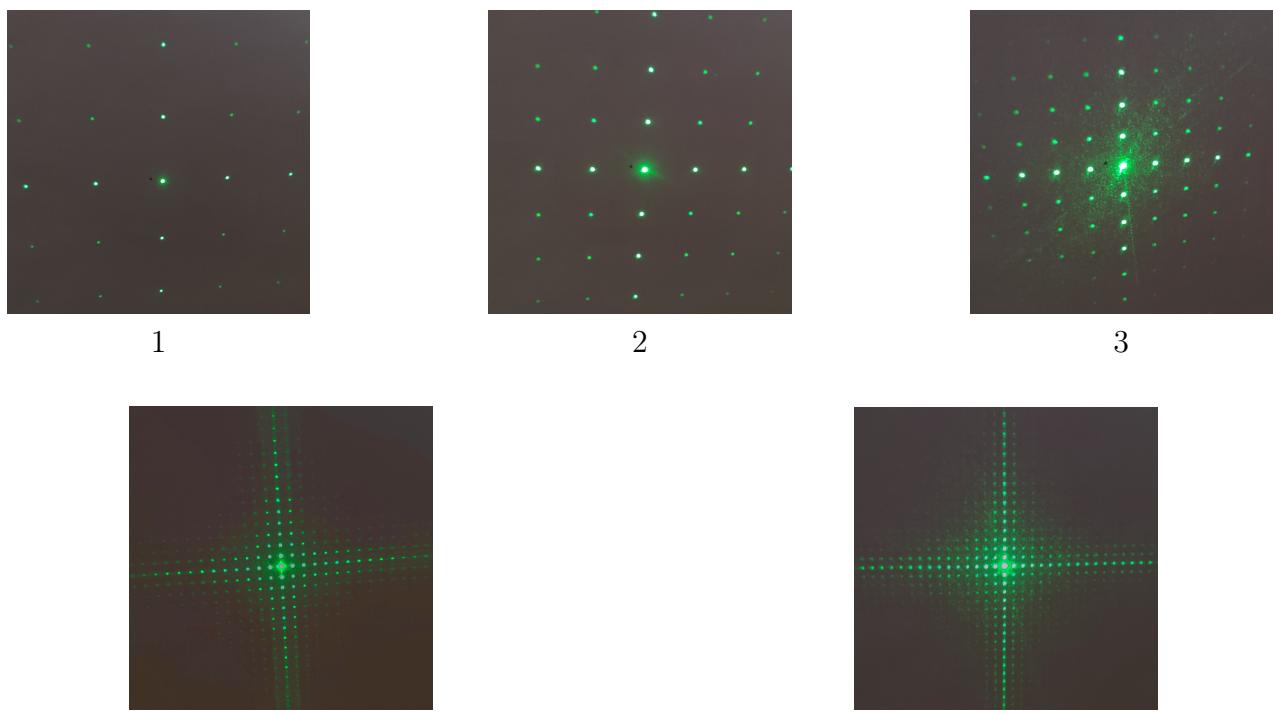
$$d \sin \theta_x = m_x \lambda \quad d \sin \theta_y = m_y \lambda$$

где  $m_x$  и  $m_y$  – два целых числа, характеризующих порядки дифракционных максимумов,  $\theta_x$  и  $\theta_y$  – направления на главные дифракционные максимумы в горизонтальной и вертикальной плоскостях соответственно. Максимумы показаны кружками, размеры которых характеризуют интенсивность.

### 3. Ход работы

#### 3.1. Определение периода решеток по их пространственному спектру

Соберем установку без линзы и пронаблюдаем дифракционные картины на различных решетках.



**Рис. 3:** Дифракционные картины в решетках по номеру

Измерим расстояния между максимумами для разных решеток:

$i, \#$	1	2	3	4	5
$x, \text{мм}$	$31.0 \pm 0.5$	$24.0 \pm 0.5$	$12 \pm 0.5$	$6.5 \pm 0.5$	$4.5 \pm 0.5$

**Табл. 1:** Расстояния между максимумами

Непосредственно по этим картинам рассчитаем периоды соответствующих решеток (при  $L = 136.3$  см,  $\lambda = 532$  нм):

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

$i, \#$	1	2	3	4	5
$d, \text{мм}$	$0.023 \pm 0.001$	$0.030 \pm 0.001$	$0.060 \pm 0.003$	$0.112 \pm 0.009$	$0.161 \pm 0.018$

Табл. 2: Периоды решеток

### 3.2. Определение периода решеток по увеличенному изображению

Соберем установку с линзой и пронаблюдаем увеличенные изображения решеток.

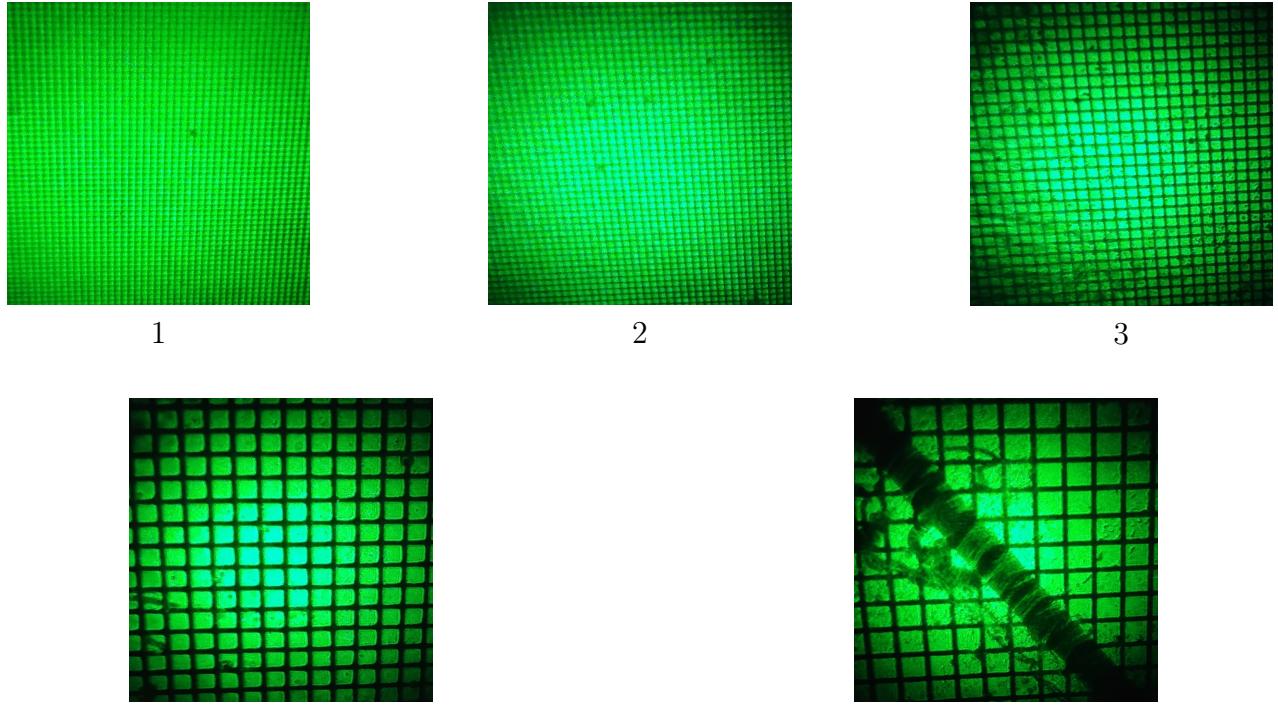


Рис. 4: Увеличенные изображения решеток по номеру

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:

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

Результаты измерения периода занесём в таблицу (при  $a = 5.5$  см,  $b = 127.6$  см):

$i, \#$	1	2	3	4	5
$d, \text{мм}$	$0.022 \pm 0.005$	$0.043 \pm 0.006$	$0.065 \pm 0.007$	$0.129 \pm 0.013$	$0.172 \pm 0.016$

Табл. 3: Периоды решеток

### 3.3. Исследование эффекта саморепродукции с помощью решеток

Будем передвигать линзу и пронаблюдаем эффект саморепродукции на примере решётки 4.

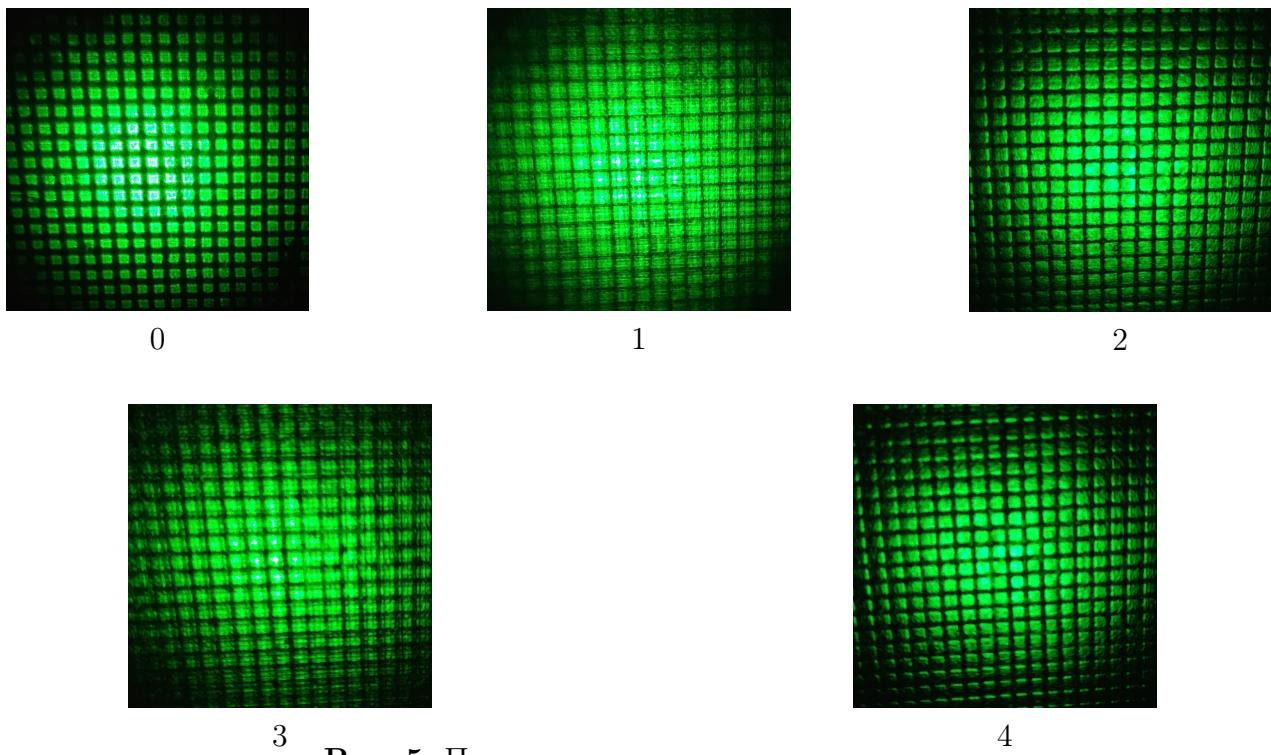
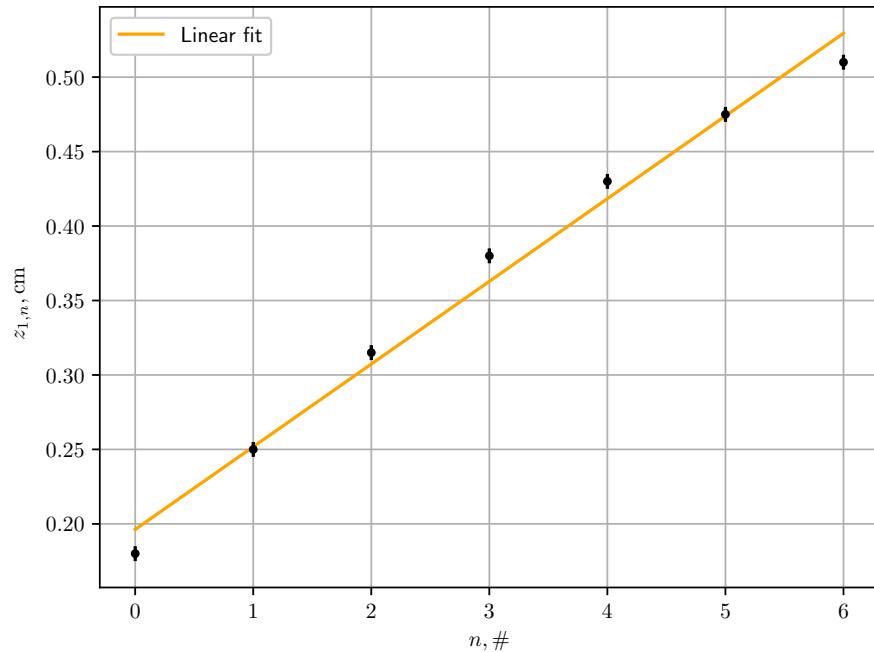


Рис. 5: Плоскости репродукции по номеру

Найдём координаты  $z_n$  плоскостей саморепродукции, построим график  $z_n = f(n)$ , по коэффициенту наклона графика  $\gamma$  определим период решётки:

$$d = \sqrt{\frac{\gamma\lambda}{2}} \quad (1)$$

Рис. 6: График зависимости  $z_n$  для решетки 1

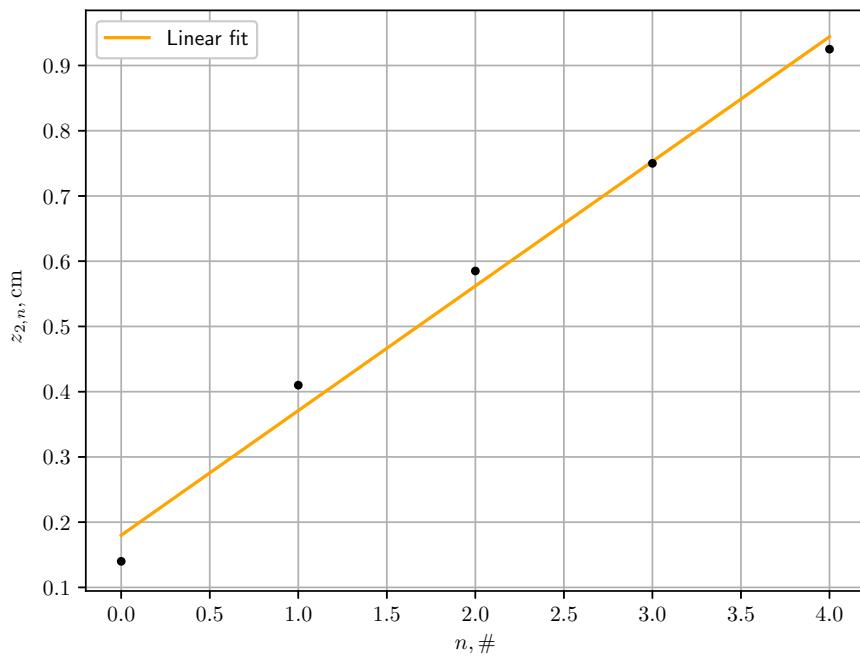


Рис. 7: График зависимости  $z_n$  для решетки 2

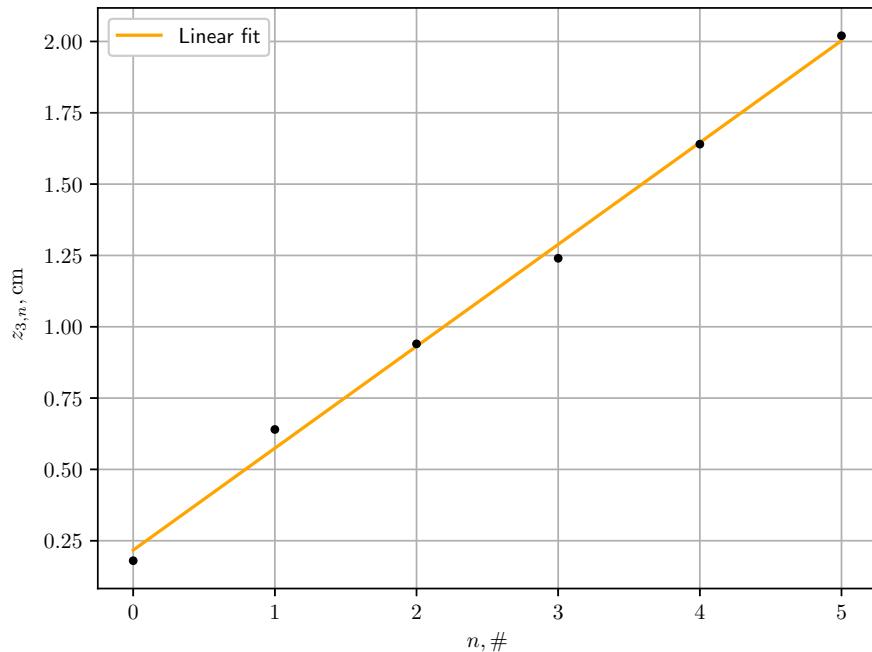
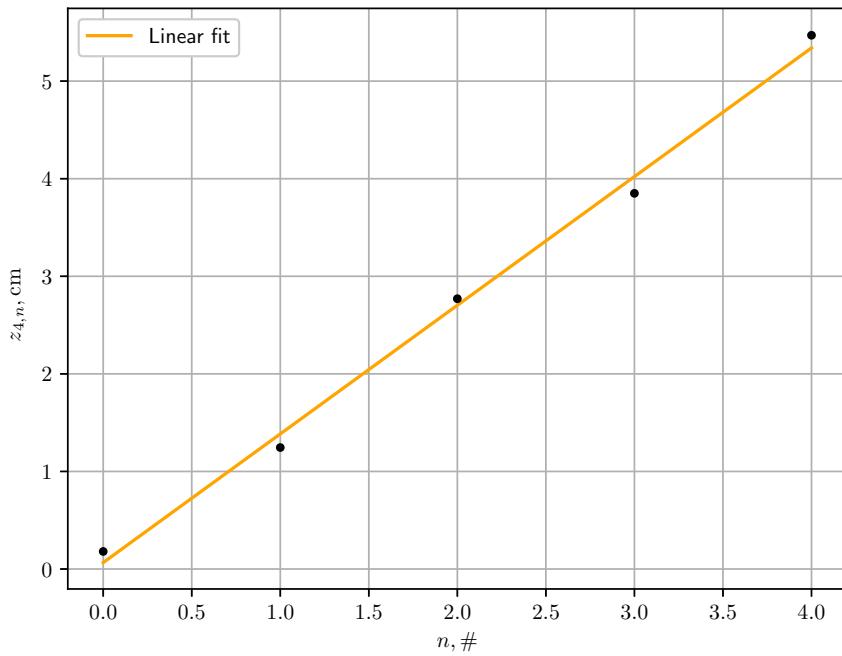
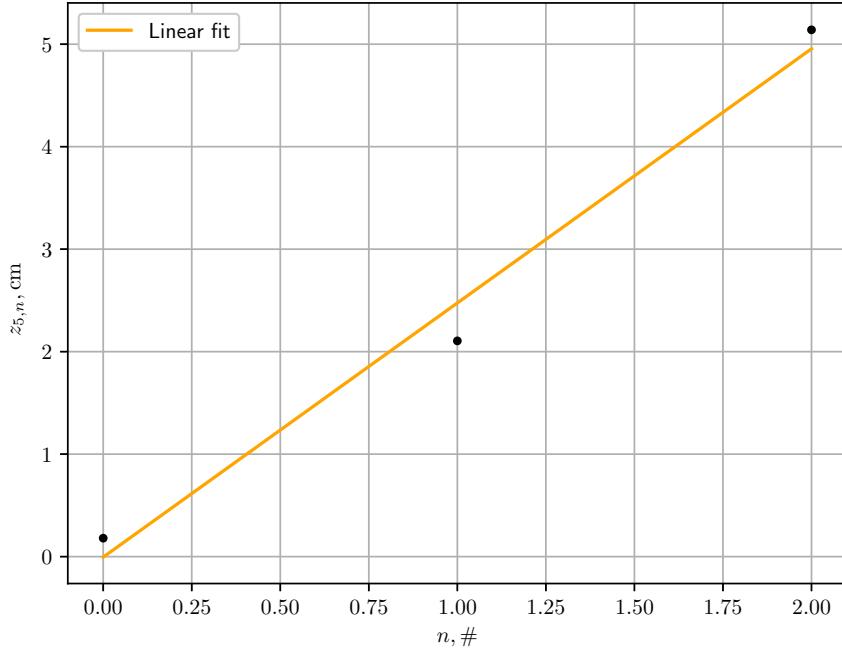


Рис. 8: График зависимости  $z_n$  для решетки 3

Рис. 9: График зависимости  $z_n$  для решетки 4Рис. 10: График зависимости  $z_n$  для решетки 5

$i, \#$	1	2	3	4	5
$\gamma, \text{см}$	$0.056 \pm 0.003$	$0.191 \pm 0.012$	$0.357 \pm 0.011$	$1.319 \pm 0.053$	$2.480 \pm 0.320$
$d, \text{мм}$	$0.024 \pm 0.012$	$0.045 \pm 0.013$	$0.062 \pm 0.009$	$0.118 \pm 0.010$	$0.162 \pm 0.019$

Табл. 4: Вычисление периода решетки

### 3.4. Сравнение периодов решеток

Занесем полученные разными методами значения периодов решеток в одну таблицу для сравнения:

$d_{\text{спектр}}$ , мм	$0.023 \pm 0.001$	$0.030 \pm 0.001$	$0.060 \pm 0.003$	$0.112 \pm 0.009$	$0.161 \pm 0.018$
$d_{\text{увели}}$ , мм	$0.022 \pm 0.005$	$0.043 \pm 0.006$	$0.065 \pm 0.007$	$0.129 \pm 0.013$	$0.172 \pm 0.016$
$d_{\text{репрод}}$ , мм	$0.024 \pm 0.012$	$0.045 \pm 0.013$	$0.062 \pm 0.009$	$0.118 \pm 0.010$	$0.162 \pm 0.019$

Табл. 5: Сравнение полученных периодов

Из данной таблицы видно, что полученные периоды совпадают в пределах погрешности. Наиболее точным выглядит метод исследования увеличенного изображения.

### 3.5. Исследование решеток миры

Рассмотрим решетки миры.

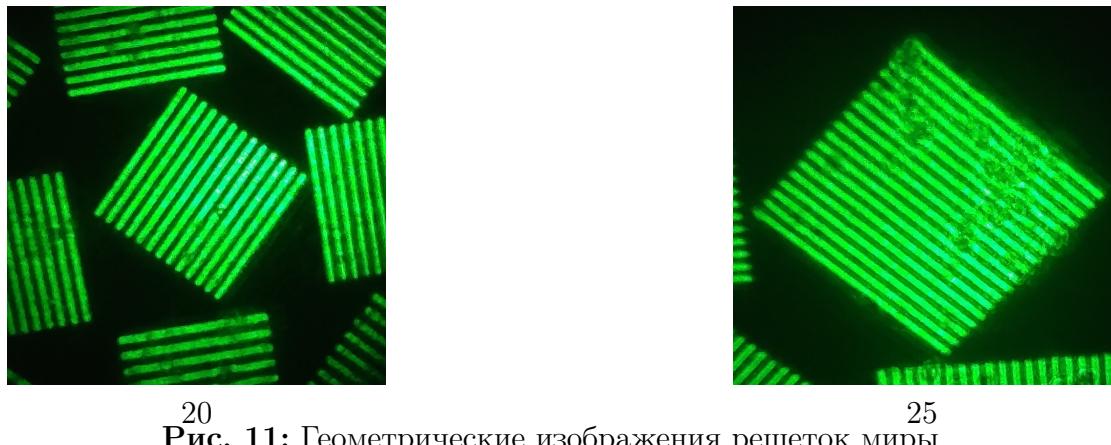
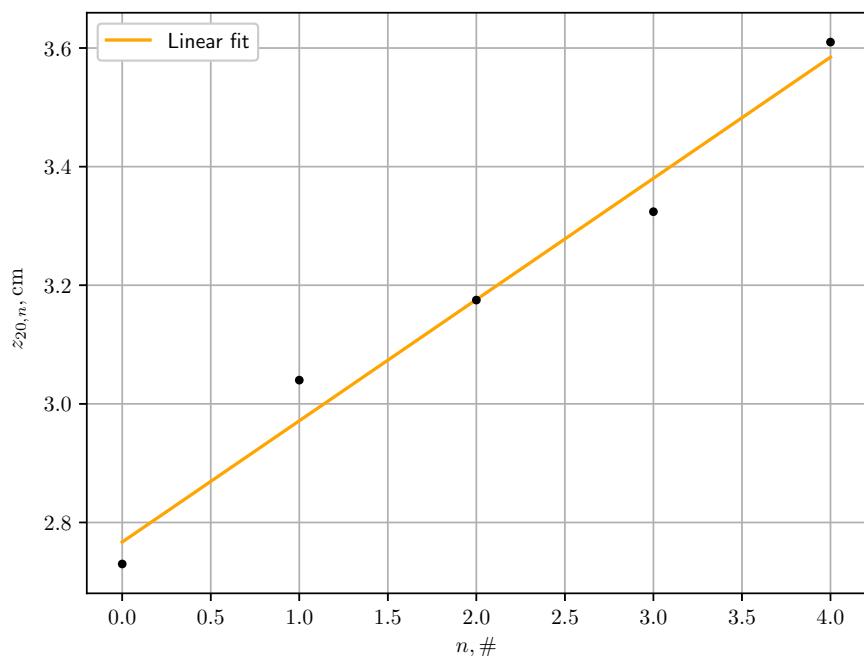


Рис. 11: Геометрические изображения решеток миры

Рис. 12: График зависимости  $z_n$  для миры 20

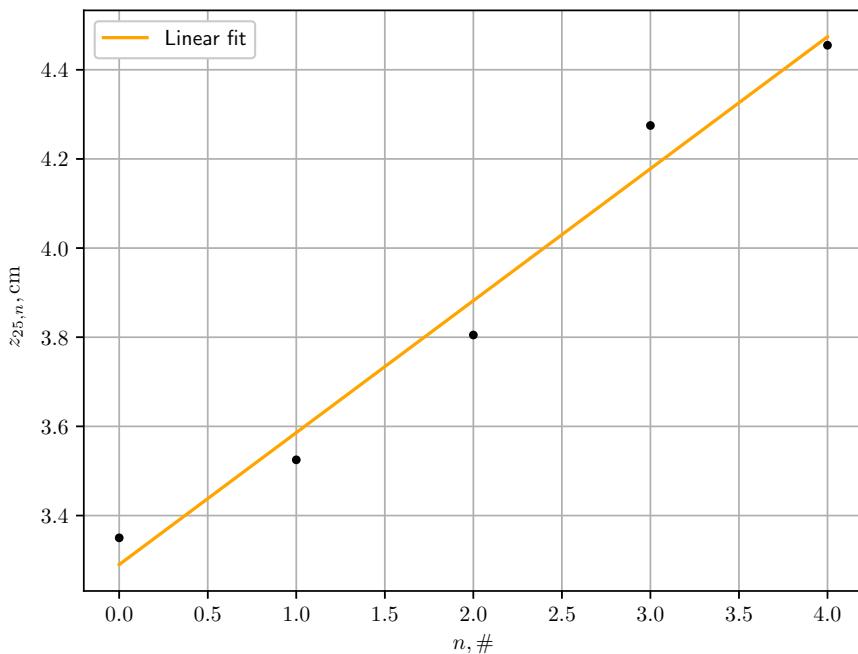


Рис. 13: График зависимости  $z_n$  для миры 25

$i, \#$	20	25
$\gamma, \text{ см}$	$0.204 \pm 0.018$	$0.296 \pm 0.028$
$d, \text{ мм}$	$0.023 \pm 0.008$	$0.028 \pm 0.008$

Табл. 6: Исследование решеток миры

## 4. Выводы

- В работе исследованы 5 дифракционных решеток тремя различными способами, диаметры занесены в Табл. 5.
- Значения, полученные методами изучения дифракционной картины, изучения увеличенного изображения и определения плоскостей саморепродукции совпадают в пределах погрешности.
- В работе также исследованы 2 решетки миры с известными параметрами, периоды занесены в Табл. 6.
- Значения, полученные методом определения плоскостей саморепродукции, совпадают с известными в пределах погрешности.