

Лабораторная работа 4.3.6
Дифракция света на периодических структурах
(саморепродукция)

Гарина Ольга Б04-901

15 апреля 2021 г.

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

В работе используются : лазер, кассета с сетками, мира, коротко фокусная линза с микрометрическим винтом, экран, линейка.

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

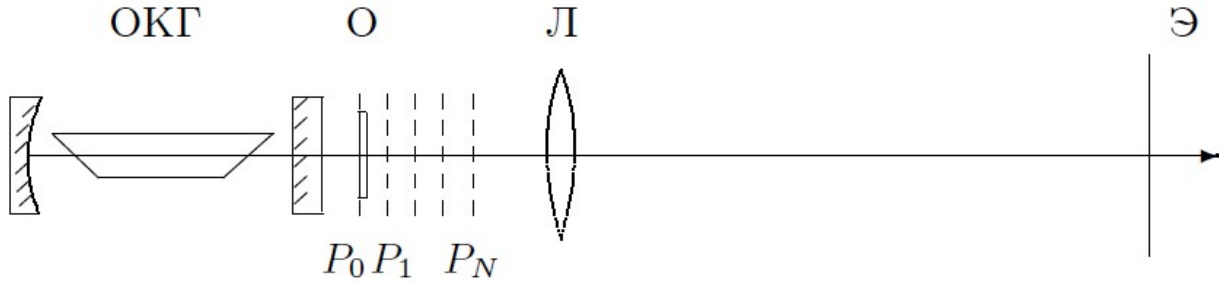


Рисунок 1 – Схема установки

1 Исследование двумерных решёток

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, можно определить $\sin \theta_n$ и $d \sim \theta_n \approx x/L$.

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

$$\begin{aligned} d \sin \theta_x &= m_x \lambda \\ d \sin \theta_y &= m_y \lambda \end{aligned}$$

1.1 Определение периода решеток по их пространственному спектру

Для проведения опыта была построена схема на рис.1, но без использования линзы. Для каждой сетки было измерено расстояние между некоторыми максимумами X и число промежутков между ними, также было измерено расстояние от L от кассеты до экрана и по формуле

$$d = \frac{\lambda L}{x}, \quad (1)$$

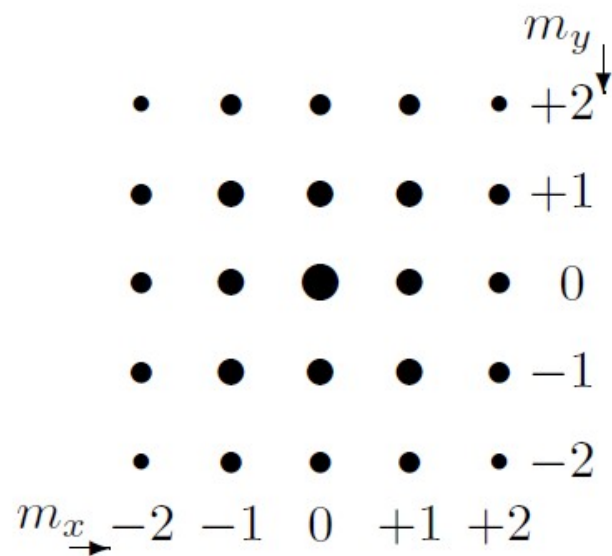


Рисунок 2 – Спектр решетки-сетки

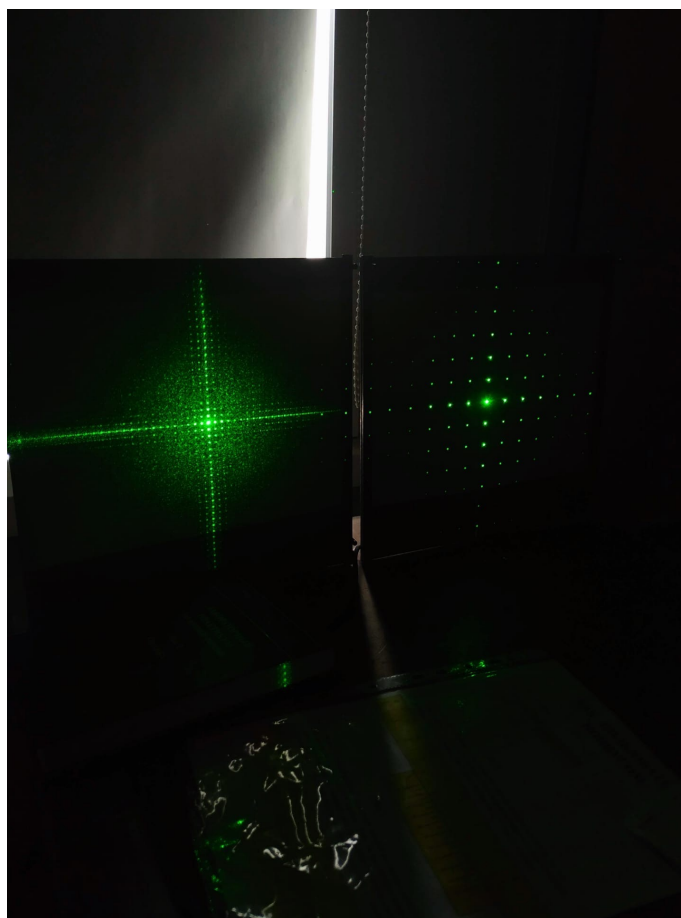


Рисунок 3 – Спектры сеток

где $x = X/m$, были получены периоды решеток.

$$d_1 = 19 \pm 4 \text{ мкм}$$

$$d_2 = 29.4 \pm 2.6 \text{ мкм}$$

$$d_3 = 58 \pm 3 \text{ мкм}$$

$$d_4 = 121 \pm 15 \text{ мкм}$$

$$d_5 = 158 \pm 12 \text{ мкм}$$

1.2 Определение периода решёток по изображению, увеличенному с помощью линзы

В схему была добавлена линза и было полученное увеличенное изображение сетки, по которому можно определить размер ее ячейки. Измерения проводились только для сеток 4 и 5, так как для остальных это сделать не удалось. Так же были измерены расстояния a – от линзы до сетки, и b – от линзы до экрана. По формуле

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

где D – размер ячейки, были получены значения периодов решеток.

$$d_4 = 171 \pm 26 \text{ мкм}$$

$$d_5 = 214 \pm 34 \text{ мкм}$$

1.3 Исследование эффекта саморепродукции с помощью сеток

Для этого опыта схема осталась прежней. Требовалось с помощью микрометрического винта на линзе найти плоскости репродукции. Далее были построены графики зависимости координаты плоскости репродукции от номера плоскости для сеток 3, 4 и 5. По коэффициентам наклона этих графиков по формуле (3) были вычислены периоды решеток.

$$z_m = \frac{2md^2}{\lambda}. \quad (3)$$

$$d_3 = 44 \text{ мкм}$$

$$d_4 = 71 \text{ мкм}$$

$$d_5 = 90 \text{ мкм}$$

	Метод I	Метод II	Метод III
d_1 , мкм	19 ± 3	–	–
d_2 , мкм	29.4 ± 2.6	–	–
d_3 , мкм	58 ± 3	–	44
d_4 , мкм	121 ± 15	171 ± 26	71
d_5 , мкм	158 ± 12	214 ± 34	90

Таблица 1 – Сравнение методов измерения периодов решеток

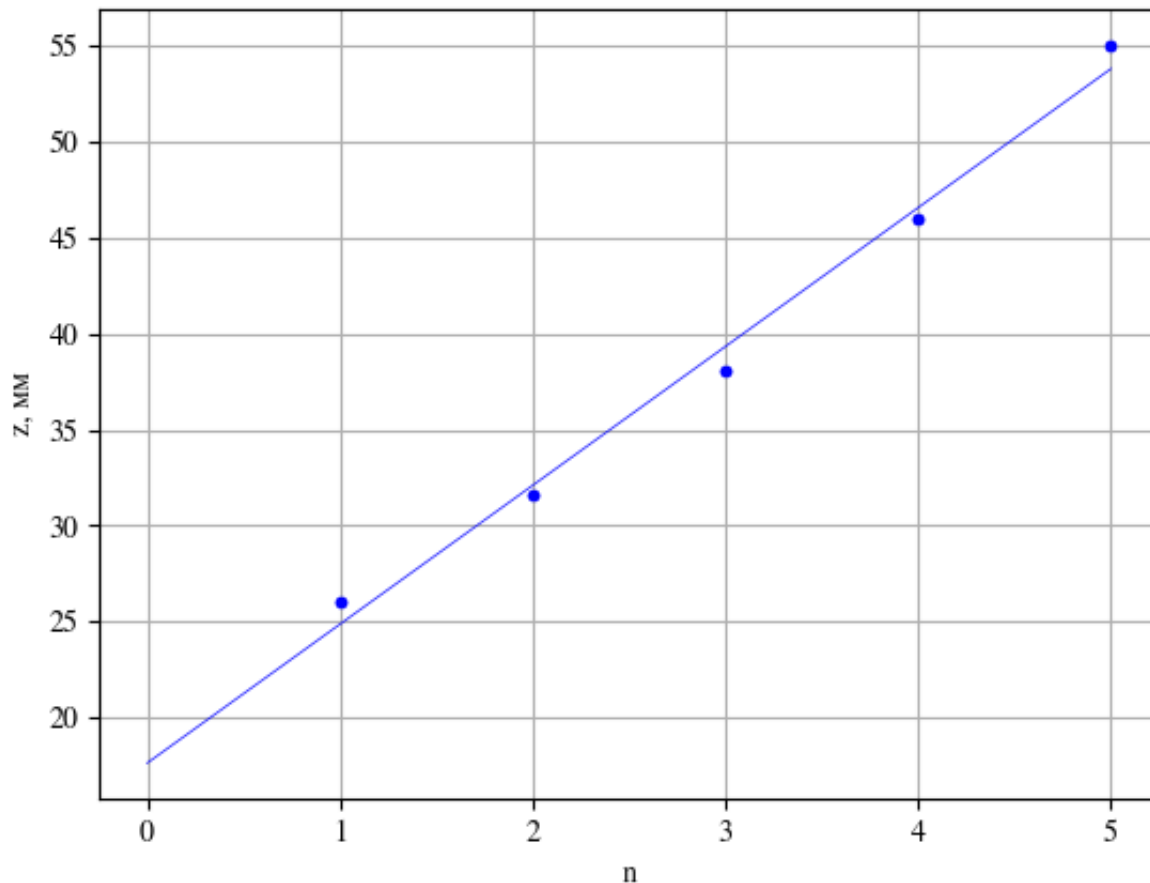


Рисунок 4 – График зависимости координаты плоскости репродукции от ее номера для сетки 3

1.4 Вывод 1

В этой части работы удалось выяснить, что универсальным методом измерения периодов является только первый. Третий метод наименее точный, так как точно определить плоскость репродукции затруднительно, кроме того, в этом методе погрешности получились более 100%. Скорее всего это связано также с неточностью определения плоскостей репродукции. Второй метод достаточно точный, но не позволяет измерить периоды всех решеток.

2 Исследование решёток миры

Для исследования периода решеток миры была составлена схема на рис. 1, где сетка заменена мирой. Далее на экране было получено четкое изображение числа 25. Для мир с номерами 25 и 20 были проделаны те же измерения, что и для сеток.

2.1 Определение периода мир 25 и 20 по их пространственному спектру

Для миры 25

$$X = 165 \text{ мм}$$

$$m = 9$$

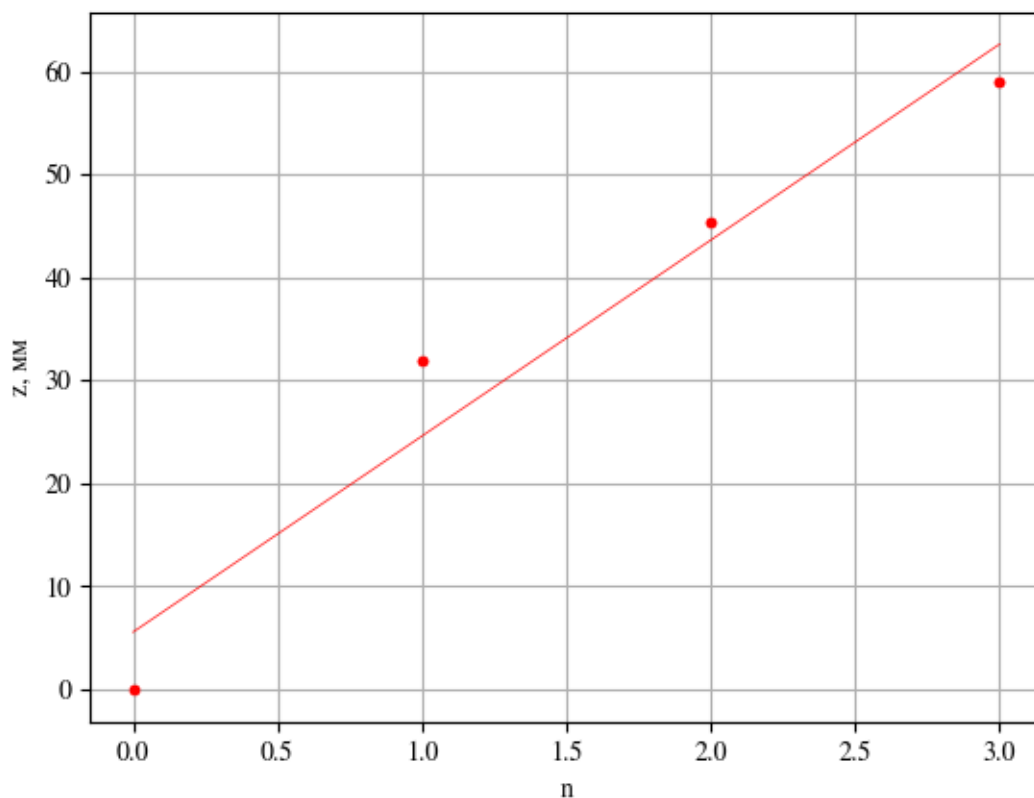


Рисунок 5 – График зависимости координаты плоскости репродукции от ее номера для сетки 4

$$d_{25} = 37,1 \pm 0.3 \text{ мкм}$$

$$d_{20} = 42.6 \pm 0.3 \text{ мкм}$$

2.2 Определение периода решёток по изображению, увеличенному с помощью линзы

Расстояние от линзы до миры $a = 70$ мм, от линзы до экрана $b = 1280$ мм. Размер всей решетки миры $25 - 18$ мм, число промежутков $m = 17$. Размер миры 20 получился 20 мм, число промежутков 13 .

$$d_{25} = 58 \pm 9 \text{ мкм}$$

$$d_{20} = 84 \pm 13 \text{ мкм}$$

2.3 Исследование эффекта саморепродукции с помощью миры

По коэффициентам наклона графиков по формуле (3) были получены периоды решеток 25 и 20.

$$d_{25} = 35 \pm 29 \text{ мкм}$$

$$d_{20} = 39 \pm 4 \text{ мкм}$$

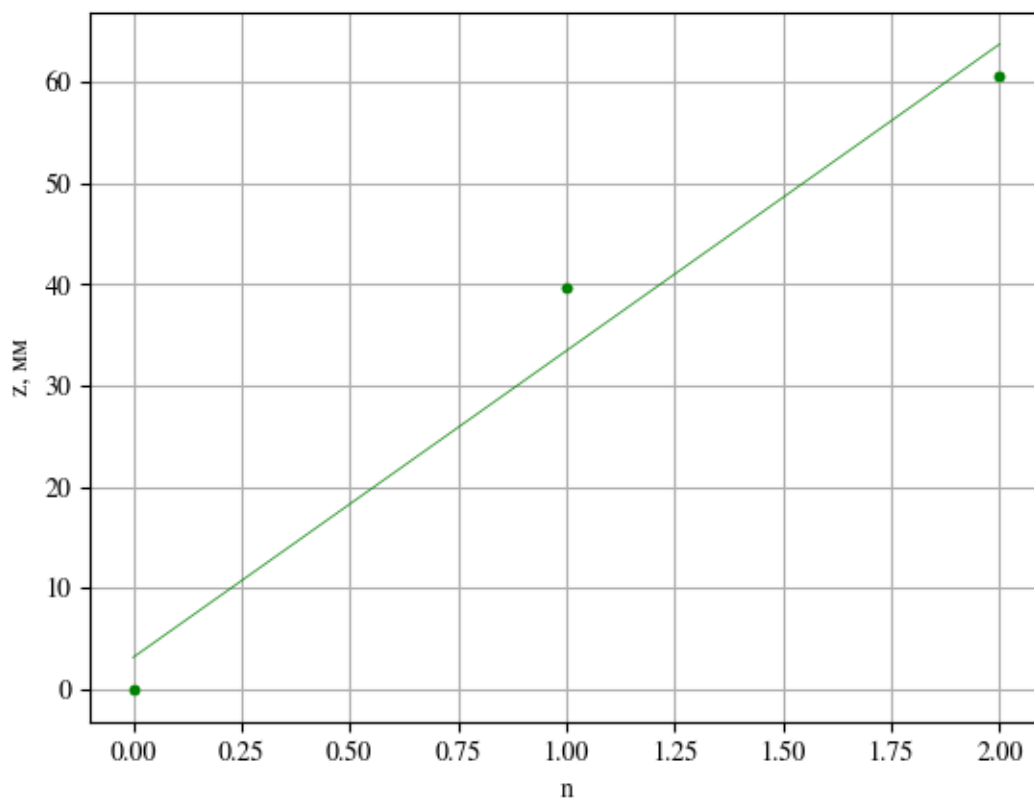


Рисунок 6 – График зависимости координаты плоскости репродукции от ее номера для сетки 5

	Метод I	Метод II	Метод III
d_{25} , мкм	37.1 ± 0.3	58 ± 9	35 ± 29
d_{20} , мкм	42.6 ± 0.3	84 ± 13	39 ± 4

Таблица 2 – Сравнение методов измерения периодов решеток

2.4 Вывод 2

В ходе эксперимента удалось установить, что все методы универсальны для исследуемых решеток. Первый метод наиболее точный, дает небольшие погрешности. Второй метод дал значения примерно в 2 раза превышающие значения, полученные в первом методе. Это может быть связано с неправильным измерением размера увеличенного изображения миры с помощью линейки. Третий метод дает самые большие погрешности, как и в случае с сетками.

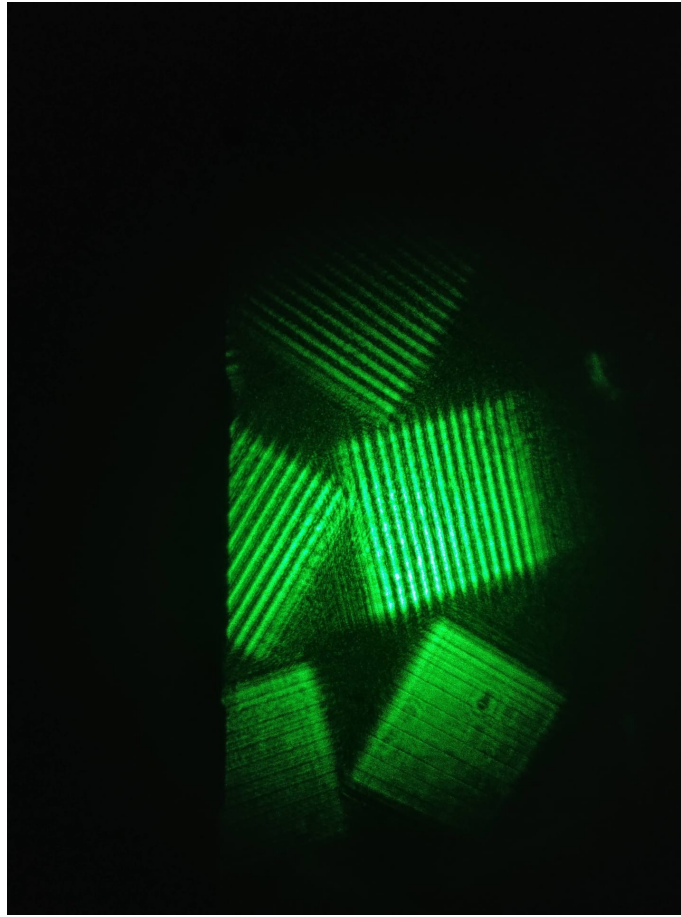


Рисунок 7 – Увеличенное изображение миры 20

3 Измерение по волосу и измерение зерна телефона

Волос, помещенный перед лазером, дал на экране дифракционную картину. Расстояние между некоторыми максимумами оказалось 95 мм, между ними 9 промежутков. Итого по методу 1

$$d = 64.5 \pm 0.8 \text{ мкм.}$$

Для измерения зерна телефона, на него был направлен лазер, который отразился от экрана и дал на листке бумаги дисфракционную картину. Для телефона 1 $x \approx 2$ см. Для телефона 2 $x \approx 3$ см.

$$d_1 = 8 \pm 2 \text{ мкм}$$

$$d_2 = 5.3 \pm 0.1 \text{ мкм.}$$

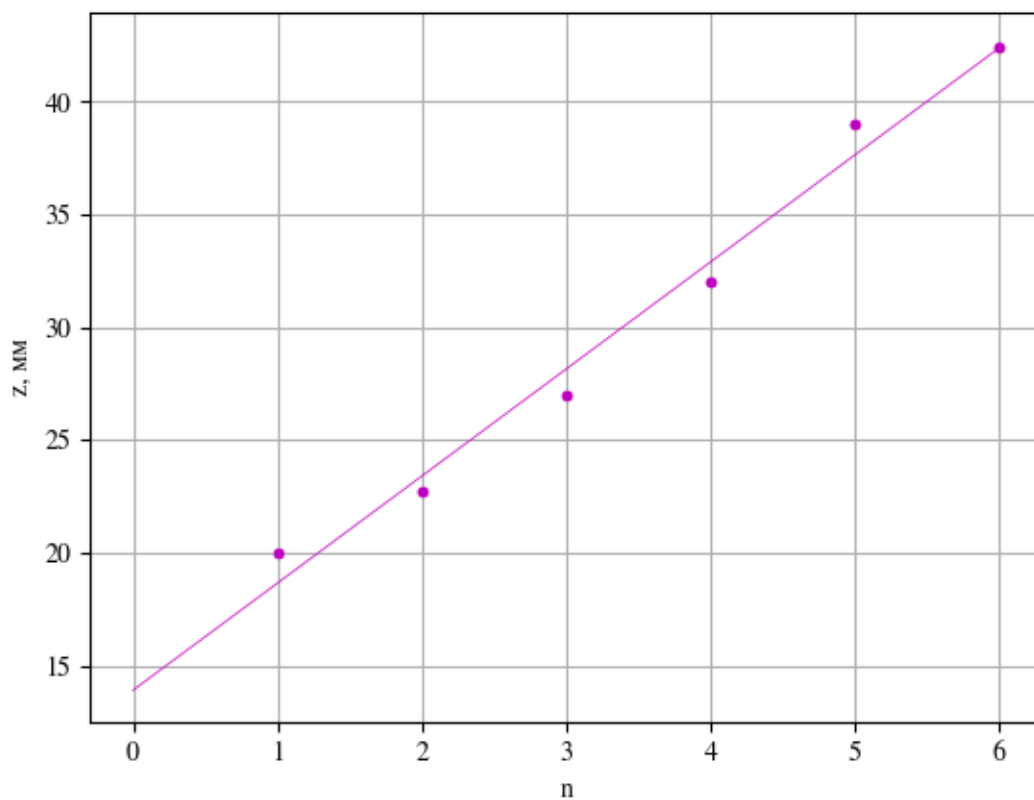


Рисунок 8 – График зависимости положения плоскости репродукции от ее номера для миры 25

4 Литература

1. Лабораторный практикум по общей физике: учеб. пособие. В трёх томах. Т. 2. Оптика / А.В. Максимычев, Д.А. Александров, Н.С. Берюлёва и др.; под ред. А.В. Максимычева. – М.: МФТИ, 2014. – 446 с.

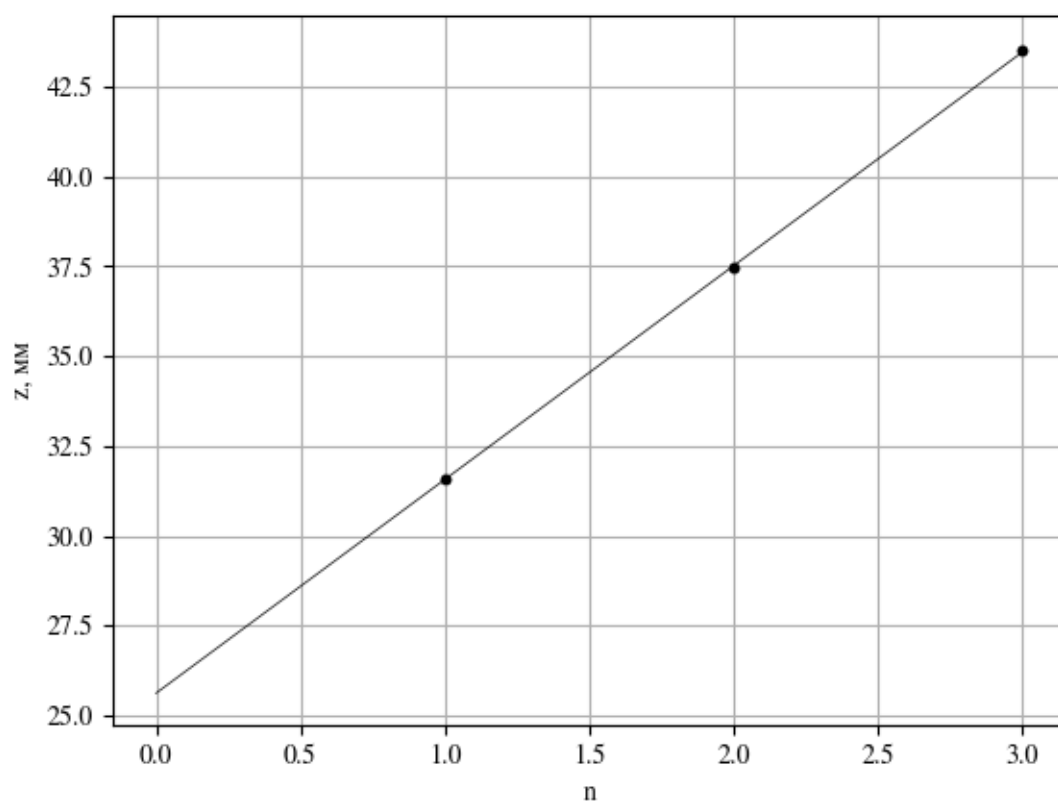


Рисунок 9 – График зависимости положения плоскости репродукции от ее номера для миры 20