

Лабораторная работа 4.3.6
Дифракция света на периодических
структурах (саморепродукция)

Аксенова Светлана

15 апреля 2021 г.

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

В работе используются: лазер, касета с сетками, мира, короткофокусная 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.

1 Описание экспериментальной установки

Луч лазера падает перпендикулярно на периодический объект O , установленный в плоскости P_0 (рис. 1).

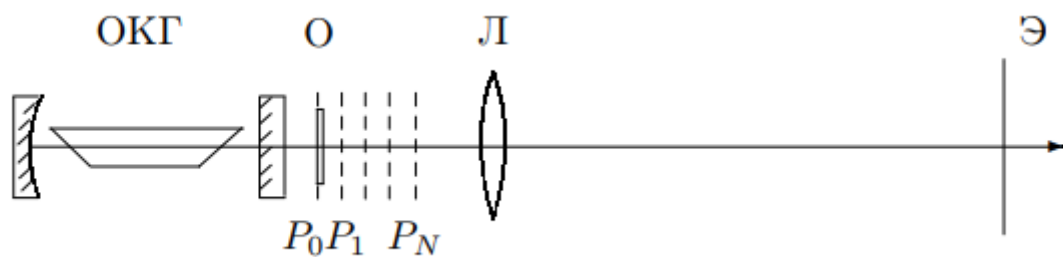


Рисунок 1 – Схема установки: ОКГ - оптический квантовый генератор (гелий-неоновый лазер), O - двумерная решётка, P_N - плоскости, где наблюдаются репродуцированные изображения, L - короткофокусная линза, \mathcal{E} - экран для наблюдения изображения объекта

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 \mathcal{E} . Если убрать линзу, то на экране наблюдается картина дифракции луча лазера на периодический объекте.

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

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

$$d \sin \theta_x = n_x \lambda, \quad d \sin \theta_y = n_y \lambda, \quad (1)$$

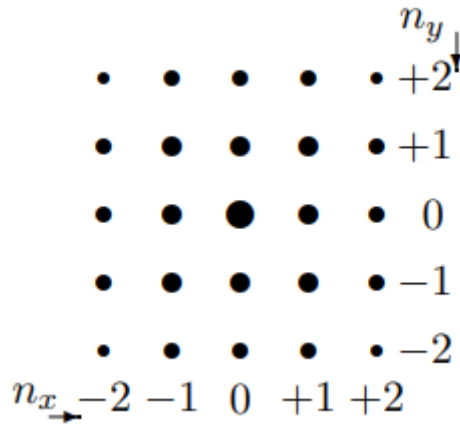


Рисунок 2 – Спектр решётки-сетки

где n_x и n_y - два целых числа, характеризующие порядки дифракционных максимумов, θ_x и θ_y - направления на главные дифракционные максимумы в горизонтальной и вертикальной плоскостях соответственно (рис. 2). Максимумы показаны кружками, размеры которых характеризуют интенсивность.

2 Исследование двумерных решёток

2.1 Определение периода решёток по их пространственному изображению

После настройки установки касета с двумерными сетками была закреплена вблизи выходного окна лазера. Для каждой сетки было определено расстояние X между двумя достаточно удалёнными друг от друга максимумами и число промежутков m между ними. Таким образом, было найдено расстояние x между соседними дифракционными максимумами на экране ($x = X/m$). Далее был рассчитан период d для каждой сетки

$$d = \lambda / \sin \theta, \quad (2)$$

где $\sin \theta \approx \theta \approx x/L$ (L - расстояние от касеты до экрана). Полученные результаты показаны в таблице 1.

2.2 Определение периода решёток по изображению, увеличенному с помощью линзы

После настройки установки было получено реальное (не репродуцированное) изображение сетки, что можно было проверить по непериодическому объекту (проволок а), которая была на 5 сетке. Были определены размеры клеток D на экране, расстояние от линзы до сетки a и до экрана b . Расчёт периода проводился по формуле

$$d = Da/b. \quad (3)$$

Результаты представлены в таблице 1.

2.3 Исследование эффекта саморепродукции с помощью сеток

После получения на экране геометрического изображения сетки, перемещая линзу с помощью микровинта, были определены координаты z_N плоскостей саморепродукции, соответствующие чёткому изображению сетки на экране. Были построены графики зависимости $z_N = f(N)$ (рис. 3 - 5), аппроксимация проводилась методом наименьших квадратов, т.к. погрешности экспериментальных точек одинаковые. Коэффициент наклона прямой a и период d каждой сетки связаны по формуле

$$a = \frac{2d^2}{\lambda}, \quad (4)$$

результаты также представлены в таблице 1.

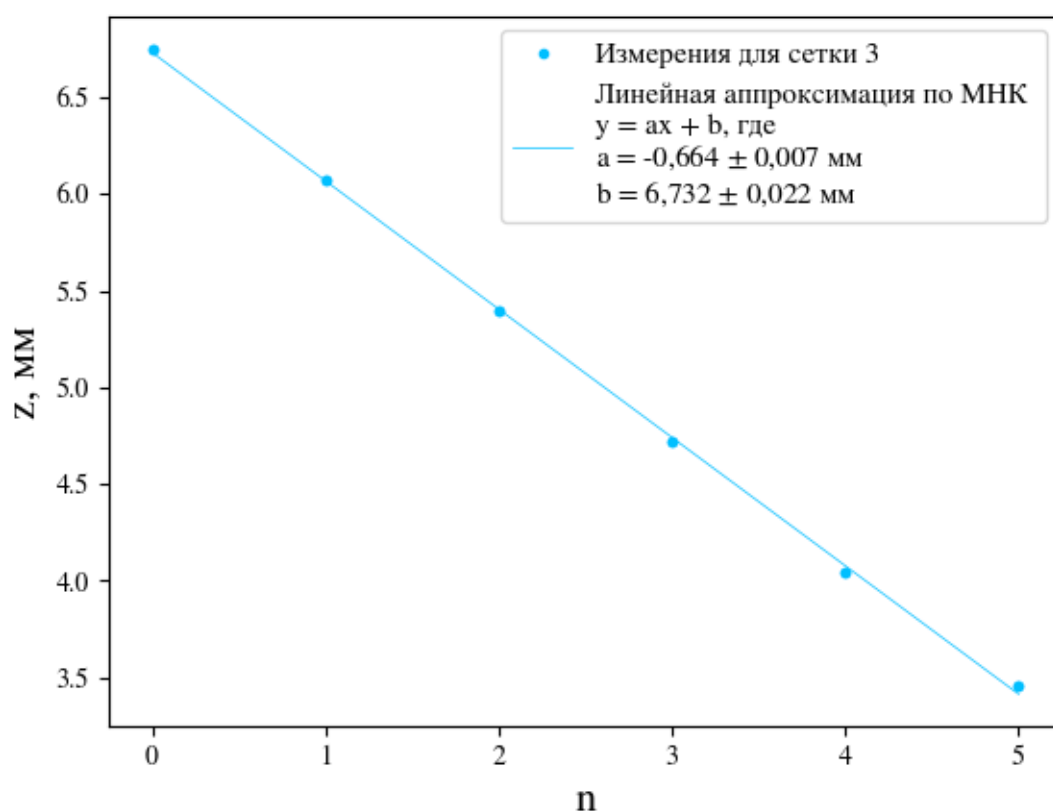


Рисунок 3 – График зависимости $z_N = f(N)$ для сетки 3

2.4 Вывод

Исходя из полученных результатов, точнее всего метод определения периода решёток через пространственный спектр, т.к. он позволяет измерять периоды решёток любого размера.

Для последних трёх решёток результаты, полученные вторым способом отличаются от расчёта по пространственному спектру не более чем на 20%. Неточность расчётов периода с помощью линзы можно объяснить большой погрешно-

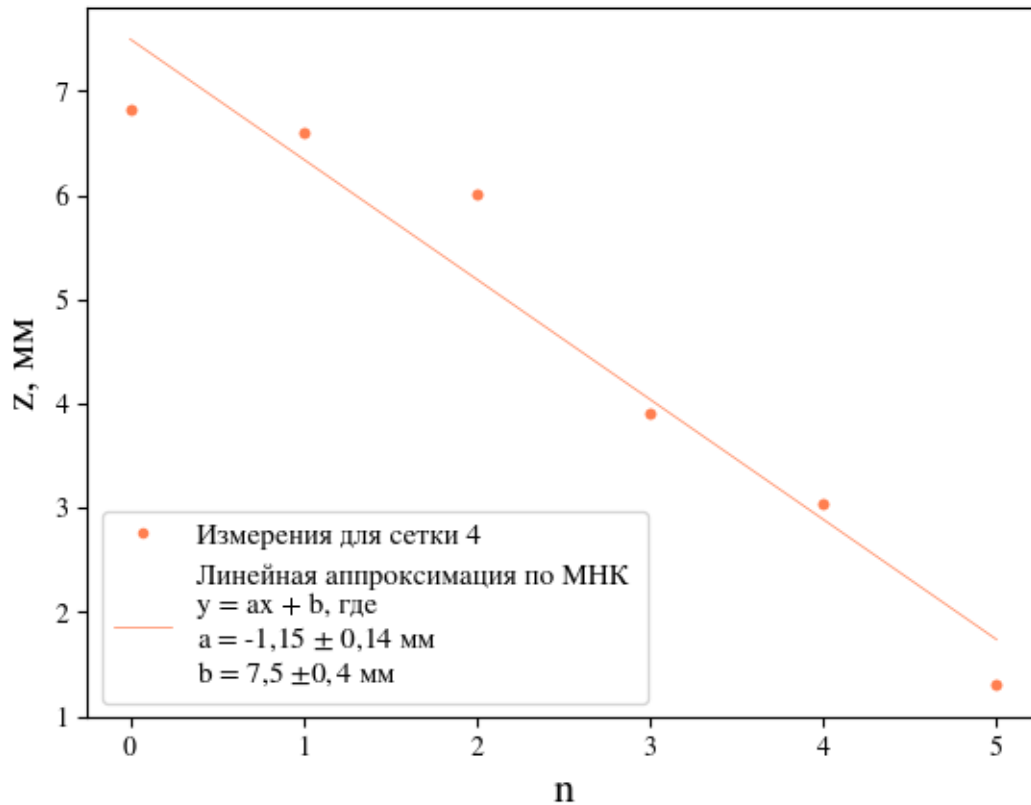


Рисунок 4 – График зависимости $z_N = f(N)$ для сетки 4

стью измерения, т.к. длина измеренной на экране клетки по порядку величины совпадает с погрешностью линейки.

Результаты, полученные третьим способом, для 4 и 5 сетки отличаются более чем в два раза. Это связано со сложностью фиксирования нового репродуцированного положения глазом человека для данных сеток.

Номер сетки	Пространственный спектр	С помощью линзы	Саморепродукция
1	$19,61 \pm 0,07$ мк	-	-
2	$29,42 \pm 0,11$ мк	-	-
3	$58,75 \pm 0,22$ мк	44 ± 44 мк	$42,02 \pm 0,33$ мк
4	$115,3 \pm 0,9$ мк	132 ± 44 мк	55 ± 5 мк
5	$155,8 \pm 1,1$ мк	176 ± 44 мк	81 ± 8 мк

Таблица 1 – Результаты расчётов периодов сеток тремя методами

3 Исследование решёток миры

Таковыми же тремя способами были проведены измерения для миры с номерами 25 и 20. Графики зависимости $z_N = f(N)$ - рис. 6-7. Результаты представлены в таблице 2.

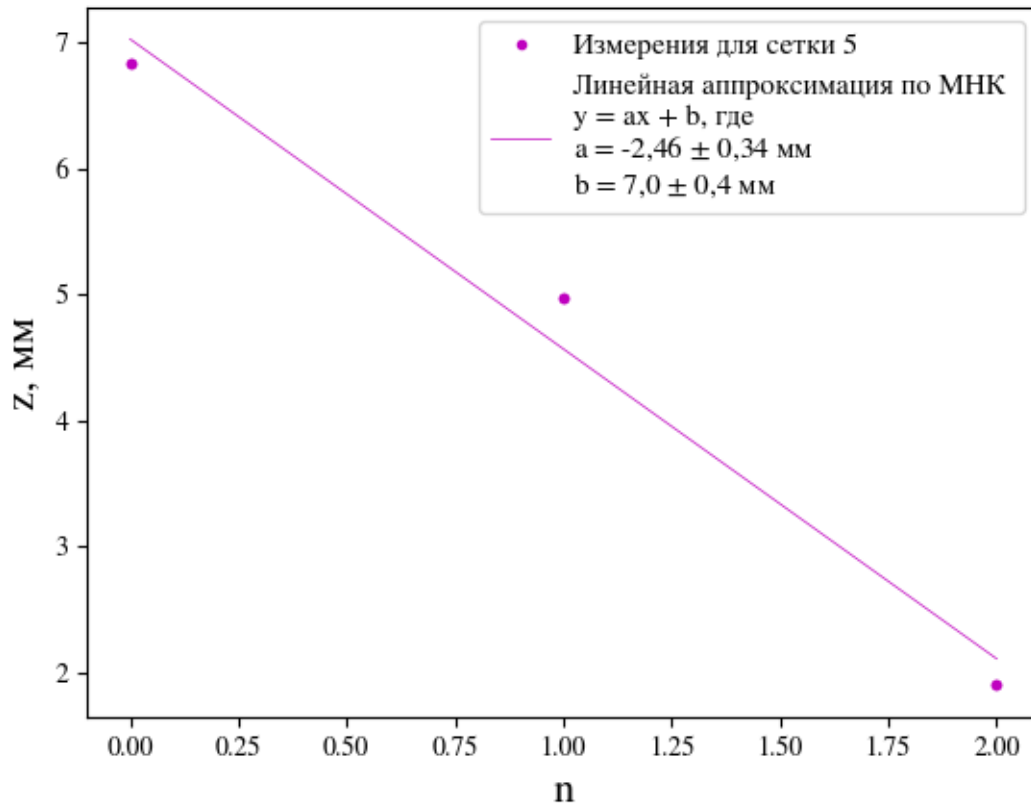


Рисунок 5 – График зависимости $z_N = f(N)$ для сетки 5

3.1 Вывод

Исходя из полученных результатов, метод определения периода по пространственному спектру является наиболее точным.

Результаты, полученные вторым методом отличаются примерно в два раза от остальных. Неточность расчётов периода с помощью линзы можно объяснить большой погрешностью измерения, т.к. длина измеренной на экране клетки по порядку величины совпадает с погрешностью линейки.

Определение периода с помощью эффекта саморепродукции оказалось точнее для мира, чем для сетки.

Номер мира	Пространственный спектр	С помощью линзы	Саморепродукция
25	$37,09 \pm 0,23$ мк	61 ± 58 мк	34 ± 3 мк
20	$42,49 \pm 0,27$ мк	83 ± 57 мк	$39,4 \pm 0,7$ мк

Таблица 2 – Результаты расчётов периодов мир тремя методами

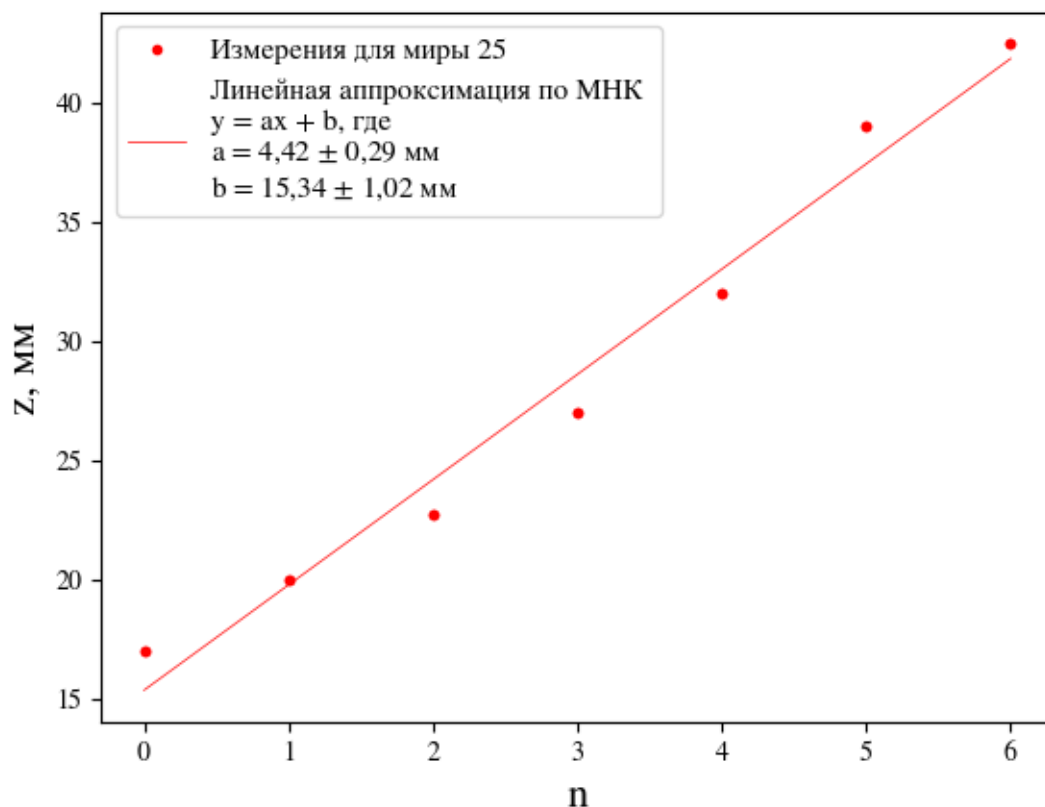


Рисунок 6 – График зависимости $z_N = f(N)$ для миры 25

4 Определение толщины волоса и зерна экрана телефона

Волос, помещённый перед лазером, дал на экране дифракционную картину. Расстояние между 10 максимумами - 95 мм. По методу один толщина волоса

$$d = 64,5 \pm 0,8 \text{ мкм.} \quad (5)$$

Для измерения зерна экрана телефона на него был направлен лазер, который отразился от экрана и дал на листе бумаги дифракционную картину. Таким образом, для двух телефонов

$$d_1 = 8 \pm 2 \text{ мкм, } d_2 = 5,3 \pm 0,1 \text{ мкм.}$$

4.1 Вывод

Толщина волоса, по данным из интернета, составляет 70-100 мкм, что почти совпадает с измеренной величиной. Данные о размере зерна телефона найдены не были.

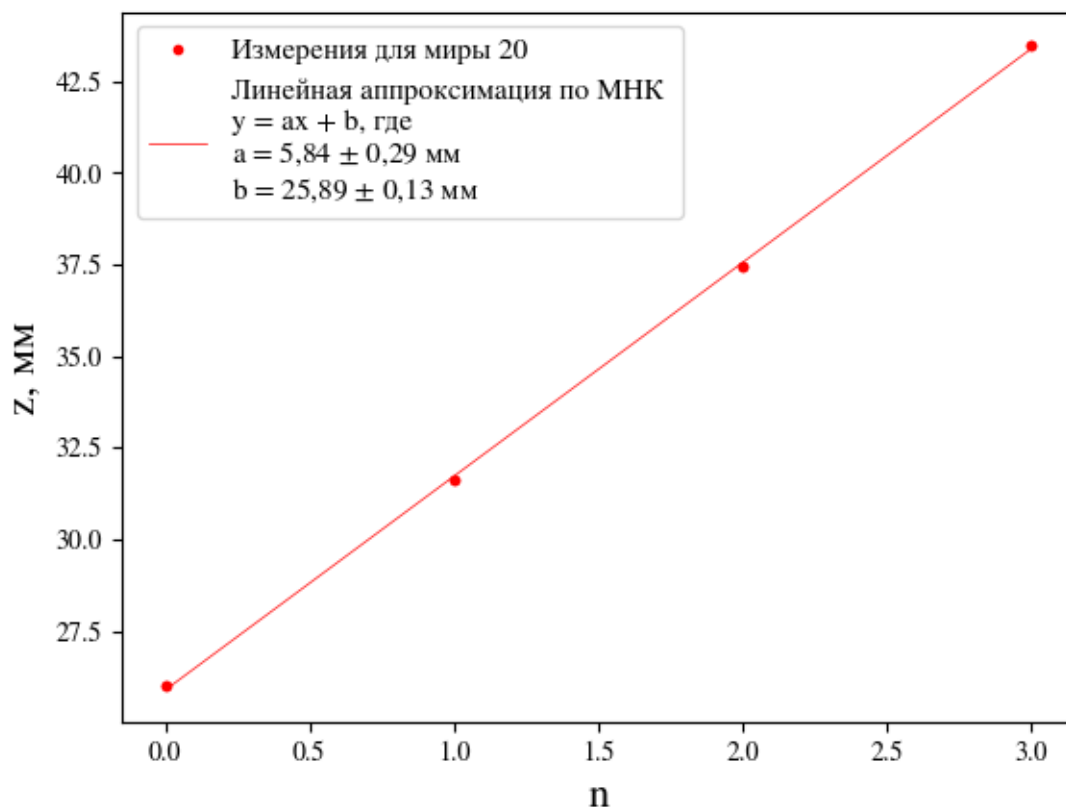


Рисунок 7 – График зависимости $z_N = f(N)$ для миры 20

5 Список литературы

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

6 Приложение

[Ссылка на данные и их обработку](#)