

# Исследование свойств голограмм точечного источника и объёмного предмета.

Маслов Артём

Казаков Данила

Б01-104

22.04.2023

## Аннотация

В работе определяется расстояние от голограммы до точечного источника, который использовался при её создании, двумя методами:

1. По результатам измерения радиусов голографических колец, спроецированных на экран при помощи короткофокусной линзы.
2. По результатам измерения параметров проекционной установки, в которой голограмма используется как короткофокусная линза, а объектом служит предметная шкала.

Исследуются свойства голограммы объёмного предмета - линейки и стержня, расположенного за линейкой:

1. Оценивается угол падения опорной волны, использованной при создании голограммы.
2. Проверяется, что изображение предмета восстанавливается по части голограммы.
3. Оценивается расстояние от голограммы до линейки и стержня.

## Теория

## Описание экспериментальной установки

## Оборудование

1. Лазер с длиной волны  $\lambda = 532$  нм.
2. Голограммы точечного источника и объёмного предмета.
3. Оптический стол с набором рейтеров.
4. Набор собирающих линз с фокусными расстояниями  $f_1 = 43$  мм,  $f_2 = 78$  мм,  $f_3 = 200$  мм.

5. Предметная шкала.
6. Экран.
7. Линейка.

## Результаты измерений

### Определение цены деления предметной шкалы

Определим цену деления предметной шкалы транспаранта.

Установив транспарант вблизи зелёного лазера с длиной волны  $\lambda = 523$  нм, наблюдаем дифракционную картину на экране, расположенном на расстоянии  $L = 1062 \pm 5$  мм от транспаранта. Расстояние измерялось стальной линейкой, но так как рейтеры не были расположены на оптическом рельсе, и линейка была короче измеряемого расстояния (было проведено два измерения) то погрешность оценим как  $\sigma_L = 5$  мм.

Было измерено расстояние между дифракционными максимумами на экране  $\Delta x = 5 \pm 0.5$  мм. Измерения проводились стальной линейкой. Погрешность измерения определяется погрешностью отсчёта  $\sigma_{\text{дел}} = 0.5$  мм и инструментальной погрешностью линейки  $\sigma_{\text{инстр}} = 0.1$  мм. Итоговая погрешность  $\sigma_{\Delta x} = \sqrt{\sigma_{\text{дел}}^2 + \sigma_{\text{инстр}}^2} = 0.5$  мм.

Цену деления определим по формуле дифракции Фраунгофера на препятствии:

$$D = \frac{L}{\Delta x} \lambda = 111 \pm 11 \text{ мкм}$$

Определим цену деления шкалы вторым способом.

Поместим после транспаранта положительную линзу с фокусным расстоянием  $f = 43$  мм и получим на экране сфокусированное увеличенное изображение предметной шкалы.

Расстояние от транспаранта до линзы  $a = 51 \pm 0.5$  мм.

Расстояние от линзы до экрана  $b = 1011 \pm 5$  мм.

На экране наблюдалось 8 делений шкалы. Размер  $N = 8$  делений  $d = 19 \pm 0.5$  мм. По формуле увеличения тонкой линзы определим цену деления шкалы предмета:

$$D = \frac{d}{N} \cdot \frac{b}{a} = 119 \pm 3 \text{ мкм}$$

Второй способ точнее, так как на экране наблюдается изображение, геометрические размеры которого измеряются точнее, чем в первом способе.

### Определение расстояния от точечного источника до голограммы методом наблюдения интерференционной картины на экране

Определим расстояние от голограммы до точечного источника, использованного при её создании.

Осветим голограмму лазером, после голограммы с помощью линзы с фокусным расстоянием  $f = 43$  мм получим увеличенное изображение интерференционной картины. Измерим

радиусы тёмных колец.

№	1	2	3	4	5	6	7	8
$r_n$ , мм	2	3.5	4.5	5.5	6	7	7.5	8

Построим график зависимости квадрата радиуса тёмного кольца от его номера  $r^2(n)$ .

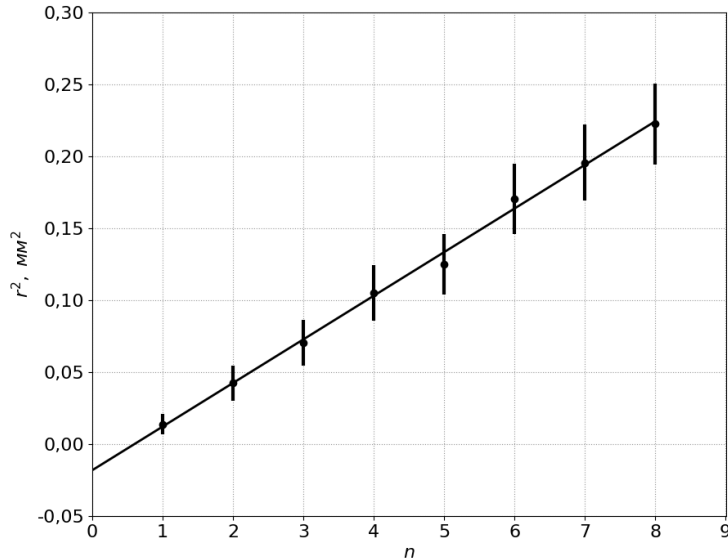


Рис. 1: График зависимости  $r^2(n)$

Теоретический радиус тёмных колец определяется по формуле:

$$r_n^2 = n\lambda z_0$$

Аппроксимируем полученную зависимость прямой  $y = ax + b$  и определим расстояние от голограммы до источника  $z_0$ .

Коэффициенты аппроксимирующей прямой:

$$a = (30,3 \pm 0,7) \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2$$

$$b = (-18 \pm 4) \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2$$

Определим расстояние от голограммы до точечного источника:

$$z_0 = 5,8 \pm 0,1 \text{ см.}$$

## Определение расстояния до мнимого и действительного изображений

Определим расстояние до действительного и мнимого изображений голограммы.

$b$  – расстояние от экрана до линзы.

$a$  – расстояние от линзы до голограммы.

$d$  – модуль расстояния от голограммы до изображения точечного источника.

Изображение	$a$ , мм	$b$ , мм	$d$ , мм
Падение лучей под углом			
Действительное	133	692	$45,1 \pm 0,7$
Мнимое	65	760	$21,9 \pm 0,7$
Падение лучей под углом			
Действительное	136	643	$47,2 \pm 0,7$
Мнимое	69	710	$18,6 \pm 0,7$

Погрешность измерения расстояний  $a$ ,  $b$  равна 0,5. Значения расстояния от мнимого и действительно изображений до голограммы, и расстояние от точечного источника до голограммы не совпадают из-за допущенной в ходе эксперимента ошибки: на экране была получена интерференционная картина не голограммы. Предметная шкала давала чёткое изображение на экране на расстоянии  $L = 1062$  мм, расстояние от транспаранта до линзы  $a = 51$ , расстояние от линзы до экрана  $b = 1011$ . Транспарант с голограммой был расположен на расстоянии  $L' = 826$  мм,  $a = 46$  мм,  $b = 780$  мм.

## Определение фокусирующих свойств голограммы

С помощью фокусирующих свойств голограммы определим расстояние от голограммы до предметной шкалы  $a$ . Расстояние от голограммы до экрана  $b = 800 \pm 5$  мм. Размер деления на экране  $D' = 2,3 \pm 0,2$  мм. Расстояние до предмета:

$$a = b \frac{D}{D'} = 3,8 \pm 0,5 \text{ см}$$

По формуле тонкой линзы определим фокусное расстояние и оптическую силу голограммы:

$$f^{-1} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = 3,88 \pm 0,03 \text{ дптр}$$

$$f = \frac{1}{f^{-1}} = 25,8 \pm 0,2 \text{ см}$$

Итого расстояние от точечного источника до голограммы  $z_0 = 38 \pm 5$  мм.

## Исследование свойств голограммы объёмного предмета

В работе был измерен угол падения опорной волны, использованной при создании голограммы  $\varphi = 47^\circ$ .

Было проверено свойство голограммы: при закрытии её части непрозрачным листом бумаги, изображение полностью восстанавливалось по оставшейся открытой части.

Было измерено расстояние от голограммы до предметов, использованных при её создании: Расстояние до линейки  $l_1 = 101$  мм.

Расстояние до гвоздя  $l_2 = 151$  мм.

## Обсуждение результатов и выводы

В работе была определена оптическая сила голограммы  $D = 3,88 \pm 0,03$  дптр. Было определено фокусное расстояние голограммы  $f = 25,8 \pm 0,2$  см. С помощью фокусирующих свойств было определено расстояние от голограммы до точечного источника, использованного при её создании:  $a = 38 \pm 5$  мм.

В работе был измерен угол падения опорной волны, использованной при создании голограммы  $\varphi = 47^\circ$ .

Было проверено свойство голограммы: при закрытии её части непрозрачным листом бумаги, изображение полностью восстанавливалось по оставшейся открытой части.

Было измерено расстояние от голограммы до предметов, использованных при её создании: Расстояние до линейки  $l_1 = 101$  мм.

Расстояние до гвоздя  $l_2 = 151$  мм.