

# Лабораторная работа 4.3.5 Изучение голограммы

Иван Сладков

19 февраля 2022 г.

## 1 Аннотация

В данной работе проводится исследование голограмм точечного источника и объёмного предмета, а также изучение их свойств.

## 2 Теоретические сведения

Голография – способ записи изображения, который позволяет по картине интенсивности восстановить полную информацию о волновом поле. Техника записи голограмм отображена на рис. 1. Важным свойством голограммы является возможность восстановить по её малому участку информацию обо всём объекте.

Назовём волну, падающую на предмет, предметной; а волну, падающую сразу на плёнку – опорной. Эти волны должны быть когерентны. Тогда:

$$t \propto a^2 + a_o^2 + 2aa_o \cos(\varphi - \varphi_o),$$

то есть сохраняется информация о фазе волны.

В частности, для точечного источника, считая, что  $f_{\text{п}} = ae^{ikz}$  и  $f_o \approx ae^{ikr}$ , получаем голограмму с функцией пропускания

$$t(x, y) \propto |a + ae^{ikr}|^2.$$

Для обратного процесса – восстановления – применяют плоскую нормально падающую волну. Считая  $f_{-}(x, y) \equiv 1$ , на выходе голограммы точечного источника получим:

$$f_{+}(x, y) = |a + ae^{ikr}|^2 = 2a^2(1 + \cos(kr)) = 2a^2 + a^2e^{ikr} + a^2e^{-ikr}.$$

Отсюда видна структура полученной волны: суперпозиция плоской и двух сферических волн (соответствующих действительному и мнимому источникам).

Голограмма точечного источника имеет вид колец (рис. 2) с радиусами

$$\rho_m = \sqrt{m\lambda z_0},$$

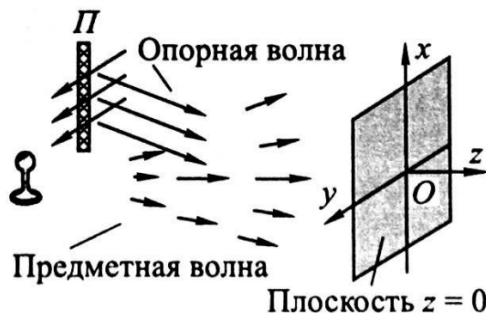


Рис. 1: Запись голограммы



Рис. 2: Зонная решётка Габора

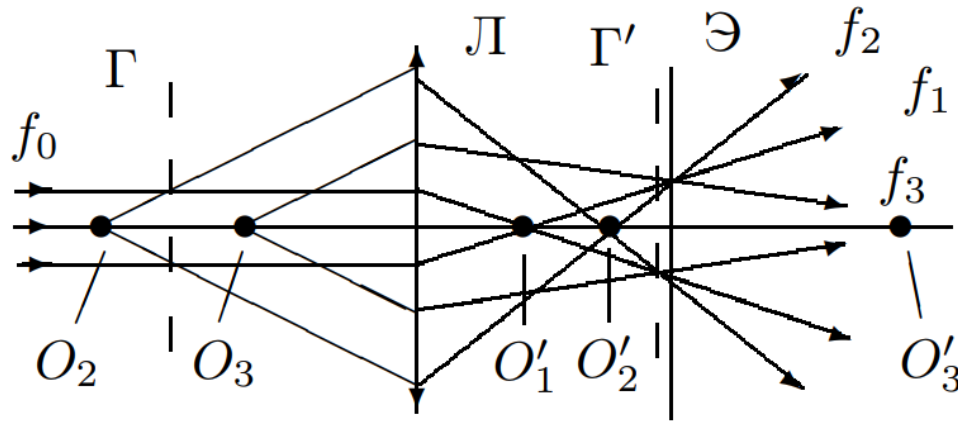


Рис. 3: Схема экспериментальной установки

где нечётному  $m$  соответствуют тёмные кольца.

Одним из свойств голограммы является её разрешающая способность, определяемая выражением:

$$\Delta x \sim \frac{\lambda}{D} z_0,$$

где  $z_0$  – расстояние от источника до его голограммы, а  $D$  – размер голограммы.

### 3 Оборудование и инструментальные погрешности

Схема экспериментальной установки отображена на рис. 3.

В работе используются:

**Лазер:**  $\lambda = 532$  нм

**Голограммы**

**Набор линз:**  $f = \{2 \text{ мм}, 43 \text{ мм}, 78 \text{ мм}, 200 \text{ мм}\}$

**Предметная шкала**

**Экран**

**Линейка:**  $\Delta = \pm 1$  мм

### 4 Результаты измерений и обработка данных

*Все измерения и расчёты в СИ.*

Расстояние между лазером и экраном:  $L = 98 \pm 0.5$  см

#### 4.1 Изучение голограммы точечного источника

**Настройка установки** По формуле  $\lambda/D = \Delta x/L$ , найдём  $D = 0.10$  мм. Кроме того, используя линзу  $f = 43$  мм, по формуле  $b/a = D'/D$ , получим  $D = 0.092$ , что близко к 1-му значению. В данных условиях 1-й метод даст большую точность, т. к.  $\Delta_\lambda \ll \Delta_f$ .

**Определение расстояния  $d$  от голограммы до точечного источника** Соберём микроскоп из линз  $f_1 = 43$  мм,  $f_2 = 78$  мм. Зная цену деления шкалы, найдём  $\Gamma = 32$ . Построим график  $\rho^2(m)$  на рис. 4. Оттуда  $k = 0.016 \pm 0.002$  и

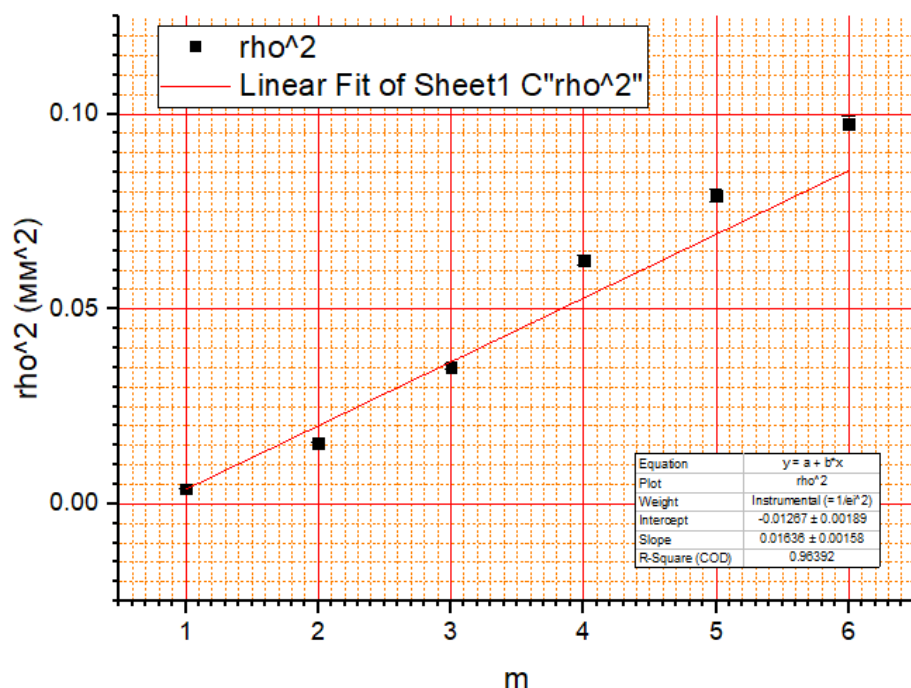
$$d = 30 \pm 3 \text{ мм}.$$

Величина ошибки получена из относительной случайной погрешности  $k$ .

Получим изображения мнимого и действительного точечных источников:

$$a_2 = 12 \pm 0.5 \text{ мм},$$

$$a_3 = 82 \pm 2 \text{ мм}.$$

Рис. 4: График зависимости  $\rho^2(m)$ 

Тогда расстояния от голограммы до источников  $d_i = a_i - fb_i/(b_i - f)$ , где  $b_i = L - a_i$ :

$$d_2 = 33 \pm 1 \text{ мм},$$

$$d_3 = 37 \pm 1 \text{ мм}.$$

Ошибки расчёта найдены по формуле инструментальных погрешностей.

**Изучение фокусирующих свойств голограммы** Определили, что правый пучок соответствует действительному источнику. В этом пучке  $D' = 1.5 \pm 0.5 \text{ мм}$ . Тогда по формуле  $b/f = D'/D$  найдём

$$f = d = 38 \pm 12 \text{ мм}.$$

Такая большая погрешность связана с несовершенством этого метода, т. к. сложно измерять расстояния около 1.5 мм в условиях засветки.

Занесём результаты различных опытов в табл. 1.

По диаметру колец	По расстоянию до изображения	По фокусирующим свойствам
$15 \pm 1 \text{ мм}$	$35 \pm 2 \text{ мм}$	$38 \pm 12 \text{ мм}$

Таблица 1: Расстояния  $d$  по результатам разных опытов

## 4.2 Изучение характеристик голограммы объёмного предмета

Собрали расширитель пучка на основе двух линз. Диаметр пучка  $2r \approx 4 \text{ см}$ .

**Изучение мнимого изображения** Найдём мнимое изображение предмета в голограмме. Фото на рис. 5. Оценим угол поворота голограммы:

$$45^\circ \pm 5^\circ,$$

если вести отсчёт от положения перпендикулярного лучу.

Можно примерно (с погрешностью около  $5^\circ$ ) оценить углы, под которыми край стержня совпадает с определёнными отметками линейки:

$$\varphi = 90^\circ : l = 195.2,$$

$$\varphi = 110^\circ : l = 194.5.$$

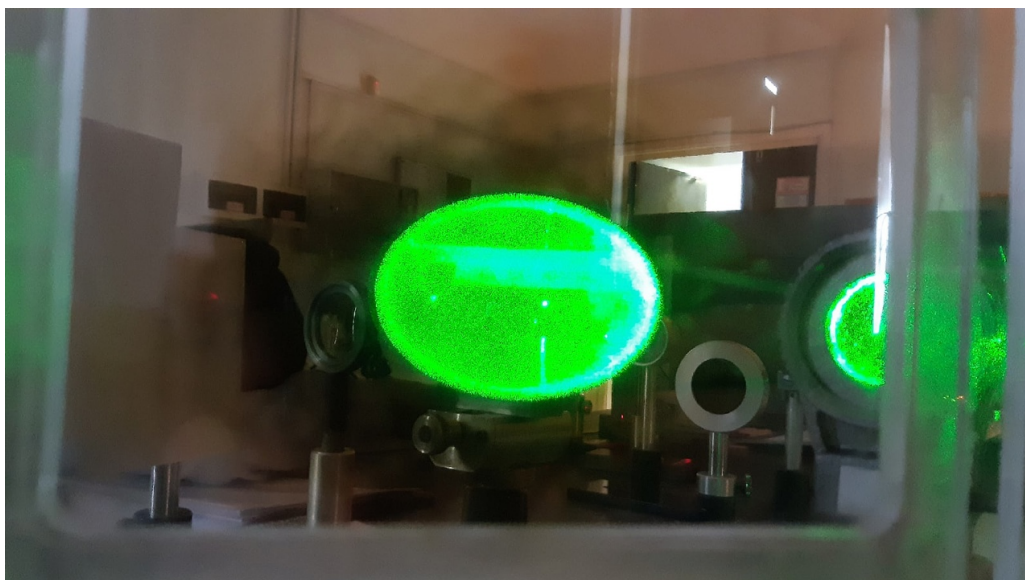


Рис. 5: Мнимое изображение объёмного предмета

Тогда расстояние от стержня до линейки

$$h \approx 2.5 \text{ см.}$$

Эта величина очень приблизительная, так как край стержня видно плохо, и измерение углов «на глаз» даёт большую погрешность.

**Изучение действительного изображения** Удалось найти действительное изображение и даже сфокусировать его линзой на переносной экран.

При повороте фотоэмульсии от лазера мнимое и действительное изображения меняются местами: теперь действительное наблюдается под углом  $45^\circ$  справа против хода движения луча.

При перемещении короткофокусной линзы вдоль луча мнимое изображение не меняется. Масштаб действительного увеличивается при приближении линзы к голограмме.

### 4.3 Оценка погрешностей

Оценка погрешностей проводилась как и обычно. В общем, ни один из опытов по определению  $d$  не обладает достаточной точностью, т. к. размеры измеряемых объектов часто небольшие, что ведёт к большим погрешностям. Наиболее перспективным является определение  $d$  по радиусу колец, но в нашем случае недостаточно точек, т. к. следовало собрать микроскоп с большим увеличением.

## 5 Вывод

Изучили голограмму точечного источника и определили несколькими способами расстояние до записанного на неё точечного источника. Кроме того, изучили фокусирующие свойства голограмм точечного источника и исследовали некоторые особенности голограмм объёмного объекта. Интересная лабораторная.

## Список литературы

- [1] Сивухин Д. В. *Общий курс физики. Том 4 Оптика*, 2004
- [2] Кириченко Н. А. *Принципы оптики*, 2014
- [3] *Лабораторный практикум по общей физике. В 3 томах. Том 2. Оптика: учебное пособие* под ред. А. В. Максимычева