

МОСКОВСКИЙ  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)

КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ  
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4.3.5

---

Изучение  
голограммы

---

Студент  
Маил МАМЕДОВ  
группа Б01-006

Преподаватель  
Владимир Юрьевич  
СТОЖКОВ



6 апреля 2022 г.

**Цель работы:** изучение свойства голограмм точечного источника и объемного предмета.  
**В работе используются:** гелий-неоновый лазер, голограммы, набор линз, экран, линейка.

## 1. Теоретическая часть

### Голограмма точки

Обычная картина распределения интенсивности света не полностью характеризует световое поле – информация о его фазе остается утерянной. Метод восстановления волнового фронта состоит в том, что на фотопластинке фиксируется интерференционная картина предметной и опорной волн. Обе волны должны быть когерентными, иначе не будет интерференции. Интенсивность такого светового возмущения несет информацию не только об амплитуде, но и о фазе рассеянной волны. Такая интерферограмма называется **голограммой**. Если затем осветить голограмму опорной волной, возникнет объемное изображение объекта.

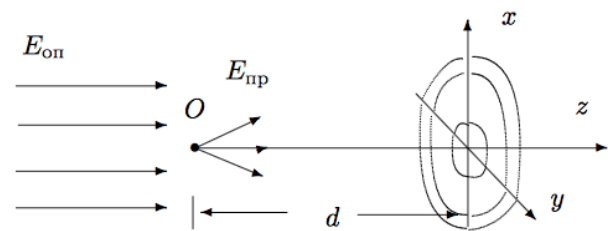


Рис. 1: Запись голограммы точки

Интерферометр Фабри-Перо состоит из двух отражающих пластин, внутренние поверхности которых хорошо отполированы и установлены параллельно друг другу. Его можно рассматривать как плоскопараллельную воздушную пластину, на которой происходят многократные отражения и интерференция световых лучей. Интерференционная картина, наблюдаемая в фокальной плоскости линзы  $L$ , состоит из концентрических колец. Для двух соседних лучей, распространяющихся между зеркалами интерферометра под углом  $\theta$ , разность хода определяется соотношением

$$\Delta = 2L \cos \theta, \quad (1)$$

где  $L$  – расстояние между зеркалами интерферометра. Будем считать, что поглощение света в зеркалах отсутствует, что достигается лишь при целых значениях отношения  $\Delta/\lambda$ .

Интерференционная картина состоит из узких светлых колец, разделенных широкими промежутками, расстояния между которыми мы будем измерять.

## 2. Установка и параметры измерения

### 2.1. Определение цены деления

Включим лазер и определим цену деления предметной шкалы. Осветим шкалу и получим четкую дифракционную картину.

Цену деления рассчитаем по формуле для дифракции Фраунгофера:

$$D = \frac{\lambda}{\Delta x},$$

где  $\Delta x$  – расстояние между дифракционными максимумами,  $L$  – расстояние от шкалы от экрана.

$$\Delta x = 2 \text{ см}, \quad L = 107 \text{ см}, \quad \lambda = 532 \text{ нм},$$

тогда  $D = (1.13 \pm 0.03) \cdot 10^{-4}$  см – цена деления предметной шкалы.

Определим цену деления вторым методом, установив линзу с фокусным расстоянием  $F \approx 4$  см и получим в центре экрана увеличенное изображение предметной шкалы с четкими делениями.

Измерим расстояния от линзы до предметной шкалы  $a$  и до экрана  $b$  и рассчитаем увеличение системы. Определите расстояние  $D$  между изображениями штрихов и рассчитаем цену деления  $D$  предметной шкалы:

$$\Delta x = 0.23 \text{ см}, \quad a = 4.5 \text{ см}, \quad b = 102.5 \text{ см},$$

$$D = \frac{\Delta x}{\Gamma} = (1.11 \pm 0.05)$$

### 2.2. Точечный источник

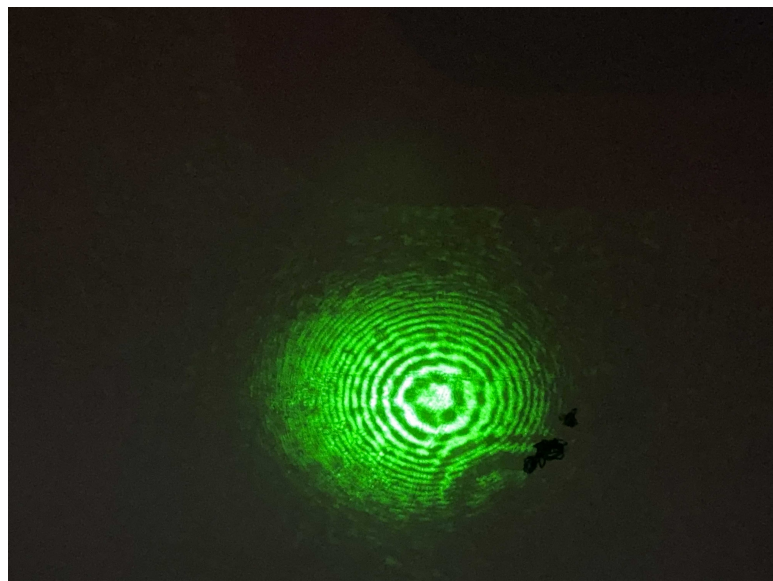


Рис. 2: Расчет расстояния между линейкой и стержнем

Получаем на экране изображение голограммы точечного источника – наиболее четкое изображение колец. Измерим радиусы нескольких темных колец.

n	$r$ , мм	$r_{\text{гол}}$	$\Delta r$ , мм	$d$ , мм
1	3	0.13	0.01	38.12
2	4	0.18	0.01	41.11
3	6	0.27	0.02	39.55
4	7	0.31	0.02	39.9
5	8	0.36	0.02	38.37

Таблица 1: Радиусы темных колец и расстояния до источника при создании голограммы

Тогда  $\bar{d} = (39.5 \pm 5.2)$  мм

Перемещая линзу вдоль луча, получаем на экране изображение сначала мнимого  $O_2$ , затем действительного источника  $O_3$ . Измерив полученные размеры, посчитаем расстояние от точечного источника до голограммы.

Расстояние от линзы до  $O_2 = (105.1 \pm 0.5)$  см

Расстояние от линзы до  $O_3 = (98.2 \pm 0.5)$  см

Тогда расстояние от точечного источника до голограммы  $O_2 = (4.36 \pm 0.04)$  см

Тогда расстояние от точечного источника до голограммы  $O_3 = (4.32 \pm 0.04)$  см

### 2.3. Изучение фокусирующих свойств голограммы

Добиваемся полного разделения пучков света на экране и определяем, какой из них соответствует действительному, какой мнимому изображению.

Установив перед голограммой предметную шкалу, получаем четкое изображение шкалы в пятне, соответствующем действительному изображению.

Измерьте расстояние между штрихами  $D'$  на экране и расстояние  $b$  от экрана до голограммы. Используя эти данные, а также найденную ранее цену деления шкалы  $D$ , рассчитаем фокусное расстояние голографической линзы.

$$D' = (0.35 \pm 0.01) \text{ см/дел}; \quad b = (123.4 \pm 1) \text{ см}$$

$$F = \frac{b}{1 + \frac{D}{D'}} = (3.8 \pm 0.1) \text{ см}$$

### 2.4. Изучение характеристик голограммы объемного предмета

Настроив систему и получив голограмму в расширенный пучок лазера находим мнимое изображение предмета.



Рис. 3: Расчет расстояния между линейкой и стержнем

$\alpha = 32^\circ \pm 2^\circ$  – угол поворота голограммы, то есть такой же угол падения опорного пучка.

Постепенно закрываем голограмму листом бумаги и видим, что изображение почти не меняется, то есть восстанавливается не из полной картины.

На мнимом изображении видим линейку, а за ней стержень. На действительном изображении картина обратная, то есть стержень расположен перед линейкой. Попробуем оценить расстояние от стержня до линейки.

Для этого рассмотрим отметку на линейке при разных углах поворота:

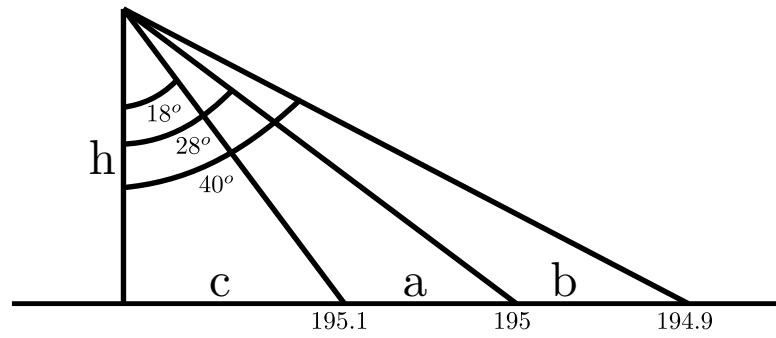


Рис. 4: Расчет расстояния между линейкой и стержнем

$$\begin{cases} \operatorname{tg} 18^\circ = \frac{c}{h} \\ \operatorname{tg} 28^\circ = \frac{c+a}{h} \\ \operatorname{tg} 40^\circ = \frac{c+a+b}{g} \end{cases} \Rightarrow h = \frac{a+b}{\operatorname{tg} 40^\circ - \operatorname{tg} 18^\circ} = \frac{a}{\operatorname{tg} 28^\circ - \operatorname{tg} 18^\circ} = \frac{b}{\operatorname{tg} 40^\circ - \operatorname{tg} 28^\circ} \quad (2)$$

$$h = (0.39 \pm 0.07) \text{ см}$$

## 2.5. Изучение действительного изображения

Находим действительное изображение, поворачиваем голограмму на  $180^\circ$  вокруг вертикальной оси.

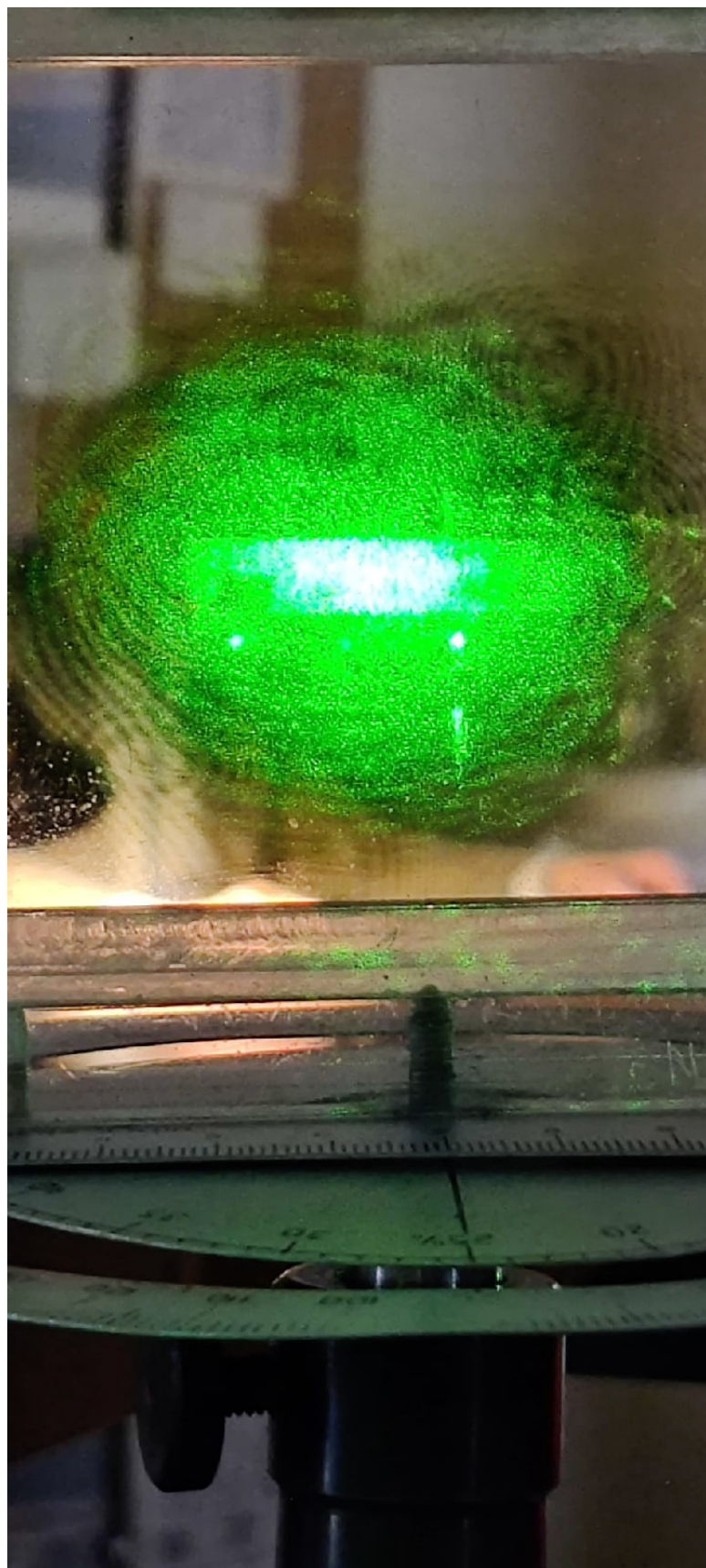


Рис. 5: Расчет расстояния между линейкой и стержнем

Угол падения восстанавливающей волны, при которых возникает действительное изображение –  $30^\circ$ , мнимое изображение –  $24^\circ$ .

Снова разворачиваем голограмму эмульсией к лазеру. Перемещаем короткофокусную линзу расширителя вдоль луча, наблюдаем, что при приближении линзы к лазеру изображение действительное увеличивается, мнимое уменьшается.

### 3. Вывод

Мы собственноручно восстановили голограмму сначала точечного источника, затем объемного предмета и оценили расстояния, с которых создавалась голограмма. Убедились в том, что частичное перекрытие светового потока слабо влияет на полученное в результате изображение.