

Работа 4.3.5

Изучение голограммы

Московский физико-технический институт
Физтех-школа радиотехники и компьютерных технологий

18 марта 2024 г.



Содержание работы

- 1 Цели работы
- 2 Оборудование
- 3 Теоретические сведения
- 4 Экспериментальная установка
- 5 Изучение характеристик голограммы точечного источника
- 6 Изучение характеристик голограммы объёмного предмета
- 7 Заключение
- 8 Список литературы

Цели работы

- изучить свойства голограммы точечного источника:
 - изучить *зонную решётку Габора* (голограмма точечного источника)
- изучить свойства голограммы объёмного источника:
 - оценить угол падения опорной волны, который был выбран при создании голограммы
 - убедиться, что изображение предмета восстанавливается по небольшой части голограммы
 - проследить за изменением масштабов изображений при освещении голограммы сферической волной

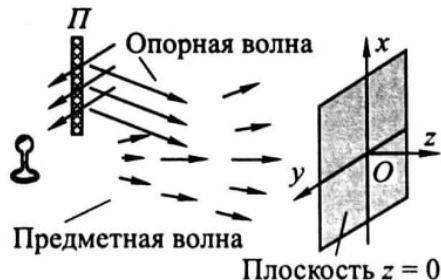
Оборудование

- гелий-неоновый лазер
- голограммы
- набор линз
- предметная шкала
- экран
- линейка

Теория. Голография и голограмма

Голограмма – фотопластинка с зарегистрированным на ней результатом интерференции предметной и опорной волны.

Голография – способ записи изображения, который позволяет по картине интенсивности восстановить полную информацию о волновом поле.



- *Предметная волна* – волна, падающая на фотопластинку после отражения от предмета
- *Опорная волна* – волна, падающая сразу на фотопластинку

Рисунок: Запись голограммы

Теория. Характеристика волн

Когерентность предметной и опорной волн обеспечивается высокой степенью монохроматичности лазерного излучения.

Функция пропускания фотопластинки:

$$t(x, y) \propto I(x, y) = |f_{\text{п}}(x, y) + f_{\text{о}}(x, y)|^2 = a^2 + a^2 + 2aa_o \cos(\varphi - \varphi), \quad (1)$$

т.е. сохранилась информация о фазе предметной волны $\varphi(x, y)$, где (x, y) – точка в плоскости $z = 0$.

Теория. Точечный источник. Запись голограммы

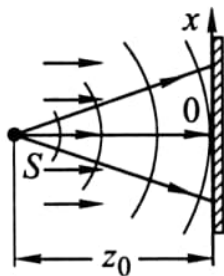
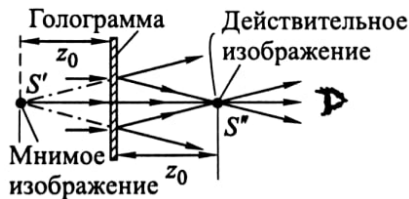


Рисунок: Запись голограммы

- Положим нулевой фазу колебаний в плоскости $z = 0$
- Для опорной волны $f_0 = a$
- Для предметной волны амплитуда сферической волны \approx амплитуде плоской волны $f_{\Pi} = \frac{a_{\Pi}}{r} e^{ikr} \approx a e^{ikr}$
- $r = \sqrt{z_0^2 + x^2 + y^2}$ – расстояние от источника S до точки (x, y) на фотопластинке
- Суммарное поле на фотопластинке $f = a e^{ikr} + a$
- Функция пропускания:

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

Теория. Точечный источник. Восстановление голограммы



- Освещаем голограмму плоской нормально падающей волной (восстанавливающей)
- Для упрощения положим $f_-(x, y) = 1$ (фаза = 0, амплитуда = 1)

Рисунок: Восстановление голограммы

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

Структура полученной волны: суперпозиция плоской и двух сферических волн.

Теория. Зонная решётка Габора

Зонная решётка Габора – это особая интерференционная картина, соответствующая голограмме точечного источника.



- Голограмма точечного источника имеет вид колец (рис. 4) с радиусами

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

где нечётному m соответствуют тёмные кольца.

Рисунок: Зонная
решётка Габора

Теория. Разрешающая способность голограммы

Голограмма создаёт изображение — дифракционное пятно, размер которого определяется формулой [1]:

$$\Delta x \sim \frac{\lambda}{D} z_0, \quad (3)$$

- z_0 — расстояние от точечного источника до голограммы в процессе записи
- D — размер голограммы
- λ — длина волны

Схема экспериментальной установки

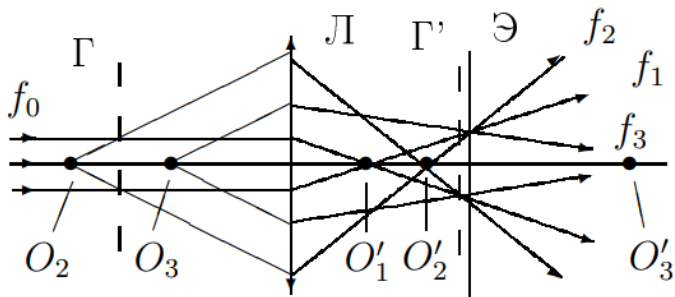
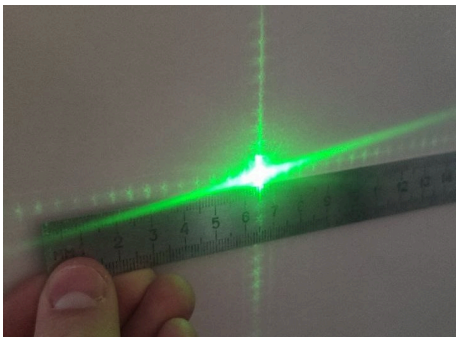


Рисунок: Схема установки. Γ – голограмма точечного источника

Настройка установки. Определение цены деления предметной шкалы



- $\Delta x = (4.4 \pm 0.1)$ мм – расстояние между дифракционными максимумами
- $\frac{\lambda}{D} = \frac{\Delta x}{L} \Rightarrow D = \frac{\lambda L}{\Delta x} = (0.104 \pm 0.003)$ мм – цена деления предметной шкалы

Рисунок: Дифракционная картина, созданная крестообразной шкалой

Настройка установки. Определение цены деления предметной шкалы

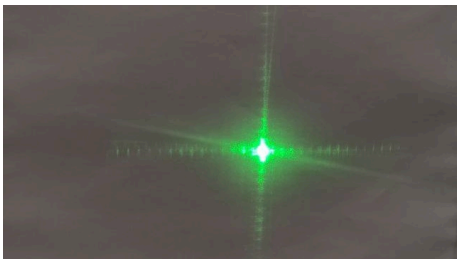
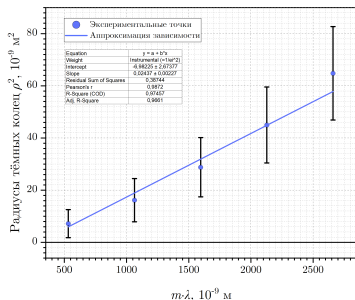


Рисунок: Увеличенное изображение предметной шкалы

- $a = (85 \pm 1)$ мм – расстояние от линзы до предметной шкалы
- $b = (717 \pm 1)$ мм – расстояние от линзы до экрана
- $\Gamma = (8.4 \pm 0.1)$ – увеличение системы
- $D' = (1.4 \pm 0.1)$ мм – расстояние между изображениями штрихов
- $D = \frac{D'}{\Gamma} = (0.17 \pm 0.03)$ мм – цена деления предметной шкалы

Определение расстояния от голограммы до точечного источника по радиусу колец



- $d = (19 \pm 2)$ мм – расстояние от голограммы до точечного источника

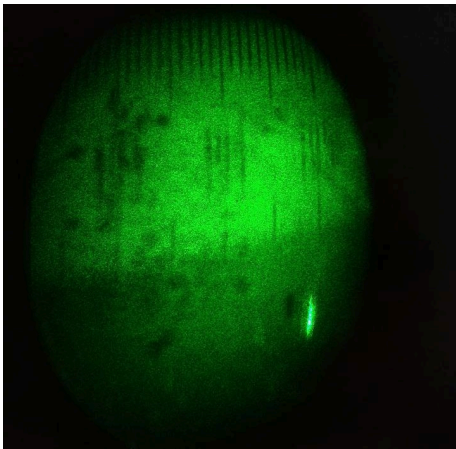
Рисунок: График зависимости $\rho^2(m\lambda)$

Изучение фокусирующих свойств голограммы

В этой части работы голограмма выполняет роль короткофокусной линзы. В качестве транспаранта - предметная шкала.

- $D' = (2.0 \pm 0.5)$ мм – расстояние между штрихами
- $d = f = \frac{D}{D'} b = (30 \pm 10)$ мм – фокусное расстояние голографической линзы (расстояние от точечного источника до голограммы)

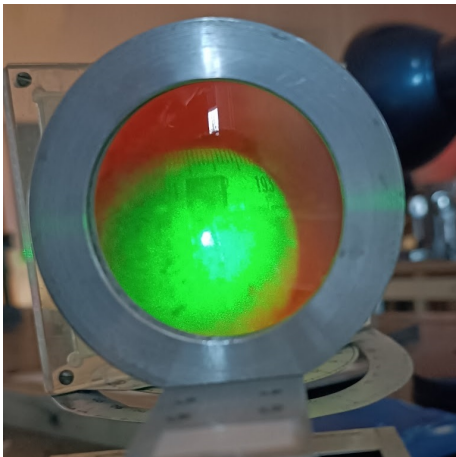
Изучение мнимого изображения



- $\varphi \approx 45^\circ$ – угол падения опорной волны (угол поворота голограммы)
- Изображение предмета восстанавливается по небольшой части голограммы

Рисунок: Голограмма объёмного предмета

Изучение действительного изображения



- Масштаб действительного изображения увеличивается при приближении короткофокусной линзы к голограмме

Рисунок: Голограмма объемного предмета

Выводы

- Вследствие большой погрешности прямых измерений, вычисление расстояния от точечного источника до голограммы не обладает достаточной точностью
- Изображение предмета восстанавливается по небольшой части голограммы
- При падении сферической восстанавливающей волны наблюдалось изменение масштабов изображения при перемещении короткофокусной линзы
- В случае произвольного предмета интерференционный узор на голограмме можно рассматривать как совокупность зонных кольцевых решёток Габора

Список литературы

- [1] Под ред. А.В. Максимычева. *Лабораторный практикум по общей физике: учеб. пособие. В трёх томах. Т. 2. Оптика.* МФТИ, 2014. ISBN: 978-5-7417-0507-0.