

4.3.5 – Изучение голограммы.

Цель работы. Изучить свойства голограмм точечного источника и объёмного предмета.

В работе используются: гелий-неоновый лазер, голограммы, набор линз, предметная шкала, экран, линейка.

Теоретическая часть. Приёмники света реагируют лишь на интенсивность света, потому на фотопластинке информация о фазе падающей волны теряется. Голография есть способ записи полного портрета (и амплитуды, и фазы) волны. Для этого на фотопластинку помимо света от предмета падает *опорная волна* известной амплитуды и фазы. Обе волны когерентны, благодаря чему мы можем наблюдать интерференцию на пластинке и по ней восстановить характеристики предметной волны.

Голограмма Габора – изображение точечного источника. Пусть такой источник создает сферическую волну $a/r \exp e^{ikr}$, опорная волна – плоская волна $a \exp ikz$. Пусть амплитуда волн на пластинке $\simeq a$, а фаза равна нулю. Тогда квадрат амплитуды даётся выражением

$$I \sim 2a^2 + a^2 e^{-ikz} + a^2 e^{ikz}.$$

Первое слагаемое суть плоская волна, третье – сферическая волна, дающая мнимое изображение предмета (голограммы), второе – сферическая волна, дающая действительное изображение предмета (с другой стороны пластинки).

Пусть пластинка расположена в плоскости $z = 0$. Обозначим расстояние до начала координат $\rho = \sqrt{x^2 + y^2}$. Тогда приближенно $r \simeq z_0 + \rho^2/2z_0$, где z_0 – расстояние до предмета. Считая фазу волн на пластинке равной нулю, получаем $\varphi = \frac{k}{2z_0} \rho^2$. Отсюда для интенсивности света на пластинке получаем выражение

$$I(\rho) = 2a^2 \left(1 + \cos \frac{k\rho^2}{2z_0} \right).$$

Мы видим, что интерференционная картина (наз. *зонная решетка Габора*) имеет вид колец, центр которых находится в начале координат. Их радиус даётся выражением

$$\rho = \sqrt{m\lambda z_0}. \quad (1)$$

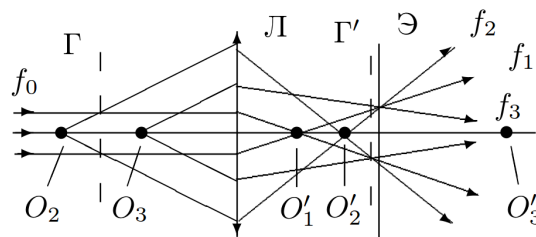


Рис. 1: Схема установки

Эксперимент. В работе используется гелий-неоновый лазер с длиной волны $\lambda = 532 \text{ нм}$. Цену деления предметной шкалы определяем по известной формуле для дифракции Фраунгофера $\lambda/D = \Delta x/L$. Имеем расстояние между дифракционными максимумами и расстояние между экраном и кассетой

$$\begin{aligned} \Delta x &= 5.5 \text{ см}, \\ L &= 118 \text{ см} \end{aligned}$$

соответственно. Отсюда $D = 11.4 \text{ мкм}$.

Теперь осветим лазером голограмму. Дифракционное изображение на экране суть кольца, по радиусы которых (формула 1) мы можем узнать расстояние до мнимого источника (до источника при записи голограммы при отс. увеличения) z_0 . Имеем

$$\Delta\rho_1 = 1.5 \text{ мм}, \quad \Delta\rho_2 = 1.5 \text{ мм}, \quad \Delta\rho_3 = 1.8 \text{ мм}, \quad \Delta\rho_4 = 2.0 \text{ мм},$$

откуда $z_0 \simeq 48.8 \text{ м}$ – расстояние до мнимого источника. Расстояние же до источника при записи голограммы, как можно ожидать из воспоминаний о расположении линзы на установке, есть $d \simeq 48.8 \text{ см}$.

В следующем опыте мы изучаем фокусирующие свойства самой голограммы, играющей роль короткофокусной линзы. Ранее мы уже нашли цену деления предметной шкалы D . Теперь подвинем её вплотную к голограмме. Расстояние от экрана до голограммы $b = 45.5 \text{ см}$, наблюдаемое расстояние между штрихами на экране $D' = 2 \text{ мм}$. Отсюда получаем фокусное расстояние голограммы $f \simeq 45.8 \text{ см} = d$. Полученный результат согласуется с другим методом, использованным выше.

На нашу голограмму записано не абы что, а изображение самой настоящей трёхмерной линейки! Используя способность головы к вращению, получаем, что опорная волна при записи голограммы падала на предмет под углом порядка $\simeq 5^\circ$.

Вывод. Мы изучили основные свойства голограммы точечного источника и были удивлены открытием Габора.