

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ им. С. П. КОРОЛЕВА

# ГОЛОГРАФИЯ

*ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА*

(Задания № 22-1, 22-2)

КУЙБЫШЕВ 1978

УДК 778.38.(083.96)

Составители:

ст. преп. каф. физики *О. А. Журавлев*, асс. *Л. И. Федосова*

Под редакцией доц. *А. И. Федосова*

Утверждена на редакционно-издательском  
совете института 9.01.76 г.

**Физические принципы голографии.** Голография (т. е. «полная запись», от греческого — голос—весь, графо—пишу) — это метод записи и восстановления волн. На обычной фотографии записывается распределение амплитуды в волне, на голограмме — амплитуды и фазы.

При освещении голограммы лазерным пучком зафиксированная на ней волна восстанавливается почти в первоначальном виде, так что при восприятии восстановленной волны глазом зрительное ощущение бывает практически таким, каким оно было при наблюдении самого предмета.

Рассмотрим механизм получения голограммы и восстановления изображения на примере простейшего предмета-точки.

Пусть на расстоянии  $a$  от фотопластинки расположена светящаяся точка  $O$ , испускающая сферическую световую волну (рис. 1). Кроме того, на фотопластину падает опорная плоская волна. Если волны когерентны, то на фотопластинке образуется система интерференционных полос. Для всех точек фотопластинки, равноудаленных от ее центра, фазовые соотношения падающих волн одинаковы, поэтому интерференционные полосы на пластинке имеют вид концентрических окружностей. В центре разность хода волн равна нулю, а для  $k$ -го кольца —  $k\lambda$ , отсюда радиус  $k$ -го кольца равен (см. рис. 1):

$$r_k^2 = (a + k\lambda)^2 - a^2 = 2ak\lambda + k^2\lambda^2. \quad (1)$$

Из выражения (1) можно найти расстояние между соседними кольцами  $\Delta r_k$ . Для достаточно больших  $k$ , для которых  $\Delta r_k \ll r_k$ , оно равно

$$\Delta r_k = \frac{a\lambda + \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda^2}{r_k} \quad (2)$$

Итак, голограмма точки представляет собой систему концентрических колец, радиусы которых подчиняются соотношению (1). Такая система изображена на рис. 2 Это, так на-



Рис. 1



Рис. 2

зываемая, зонная решетка Френеля. Следует, однако, иметь в виду, что на этом рисунке переход от темных участков к светлым осуществляется скачком, на голограмме же такой переход происходит плавно, приблизительно по синусоидальному закону.

Рассмотрим процесс восстановления с помощью полученной голограммы световой волны, испускаемой точкой. Уберем светящуюся точку, ее голограмму поместим на то место, где она экранировалась, и осветим голограмму той самой плоской световой волной, которая ее освещала при записи.

Каждый малый участок зонной решетки Френеля можно рассматривать как дифракционную решетку с синусоидальным распределением прозрачности. При дифракции на ней получаются три пучка:

лучок нулевого порядка, являющийся продолжением падающего;

лучки первого порядка, распространяющиеся под углами, удовлетворяющими условию

$$\sin \varphi = \pm \frac{\lambda}{\Delta r_k} . \quad (3)$$

В случае решетки с синусоидальным распределением прозрачности лучки порядков свыше первого отсутствуют.

Рассмотрим луч света, падающий на голограмму на расстоянии  $r_k$  от ее оси (рис. 3). Лучи первого порядка отклоняются на углы  $\pm \varphi_k$ . Эти лучи (или их продолжение) пере-

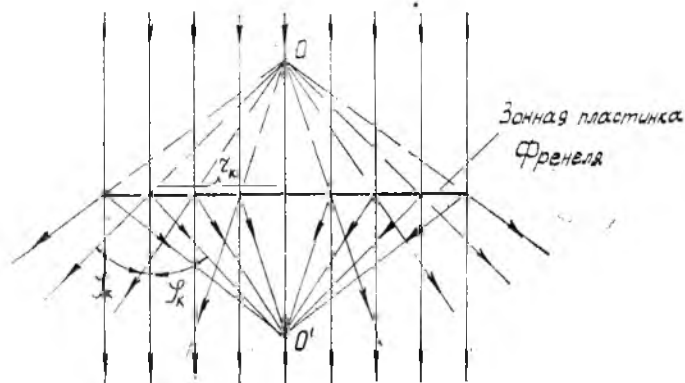


Рис. 3

секут ось голограммы на расстоянии  $\pm x$  от ее поверхности. Найдем величину  $x$ . Из рис. 3 следует, что

$$x = r_k \operatorname{ctg} \varphi_k = r_k \sqrt{\frac{1 - \sin^2 \varphi_k}{\sin \varphi_k}}. \quad (4)$$

Учитывая, что  $\sin \varphi_k = \frac{\lambda}{\Delta r_k} \approx \frac{r_k}{a + k\lambda}$ , получаем

$$x = \sqrt{a^2 + 2ak\lambda + k^2\lambda^2 - r_k^2}. \quad (5)$$

Подставив значение  $\Delta r_k^2$  из выражения (1) в (5), получим

$$x = a. \quad (6)$$

Таким образом, расстояние, на котором лучи плюс первого и минус первого порядков пересекают ось голограммы, одинаково для лучей, дифрагированных всеми участками голограммы.

Итак, при прохождении плоской волны через голограмму точки образуют две сферические волны (рис. 4), одна из которых имеет выпуклый сферический фронт, другая — вогнутый. Центр выпуклой волны находится в точке  $O$ , расположенной на расстоянии  $a$  от голограммы, т. е. в том месте, где помещалась точка при голографировании. Вогнутая волна сходится в точке  $O'$ . При этом точка  $O'$  находится так же на расстоянии  $a$  от голограммы. Кроме волны первого порядка, образующей мнимое и действительное изображения точки, из

голограммы выходит еще плоская волна, соответствующая нулевому порядку.

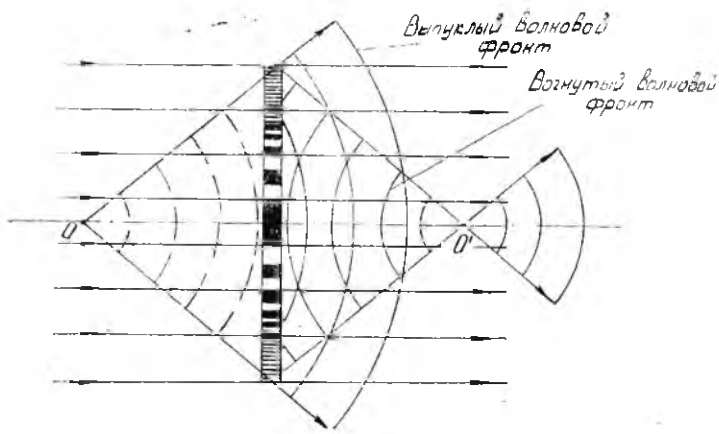


Рис. 4

Результаты, полученные для точки, нетрудно распространить на предметы любой формы, состоящие из многих точек, рассеивающих свет. В этом случае голограмму следует рассматривать как наложение зонных решеток, образованных каждой точкой предмета.

Рассмотрим процесс записи и восстановления изображения трехмерного предмета.

С помощью линз 2 и 4 (рис. 5) расширяем и коллимируем

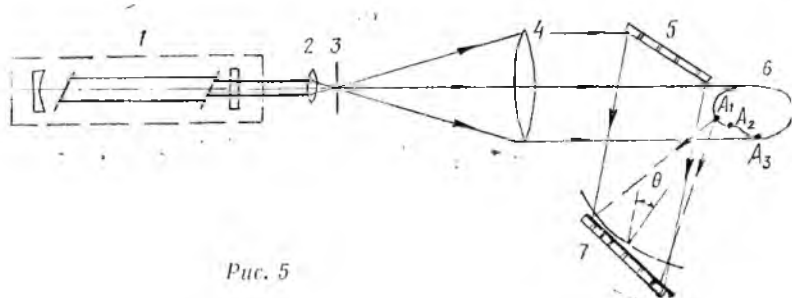


Рис. 5

ем пучок лазера 1. Одна часть пучка служит для освещения диффузно-рассеивающего предмета 6, другая, отражаясь от вспомогательного плоского зеркала 5, падает в виде плоской волны на фотопластинку 7 (опорная волна).

Зарегистрированная на фотопластинке сложная интерфе-

ренционная картина несет амплитудную и фазовую информацию от каждой точки объекта, освещенной лучом лазера.

Если полученную голограмму осветить параллельным пучком лазера, падающим под тем же углом, под каким падала на фотопластинку опорная волна в момент фотографирования (рис. 6), то большая часть света пройдет без откло-

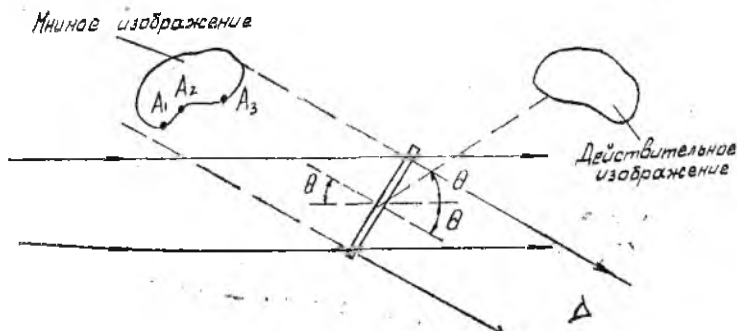


Рис. 6

нения в направлении максимума нулевого порядка, а часть света отклонится в направлении максимумов первого порядка. Нижний отклоненный пучок света является репродукцией волны, которая падала от объекта *б* на пластинку. Глаз, расположенный на пути распространения этого волнового фронта, увидит за голограммой мнимое изображение объекта. Оно идентично объекту *б* и расположено там, где находился объект. Восстановленное изображение трехмерно.

Верхний отклоненный пучок образует волну, подобную предметной, но фазы в ней имеют противоположные знаки. Эта волна образует действительное изображение объекта, оно является зеркальным изображением объекта.

**Голографическая интерферометрия.** Голографическая интерферометрия позволяет исследовать малые смещения поверхности объектов.

Наибольшее распространение получили три метода голографической интерферометрии: в реальном масштабе времени (или мгновенная интерферометрия), с двойной экспозицией и с усреднением во времени (или с многократной экспозицией).

При первом методе сначала получают голограмму объекта в его исходном (невозмущенном) состоянии. Полученную голограмму ставят на то же самое место, где она экспонировалась, и освещают опорным пучком. Если сквозь голограм-

му наблюдать объект, оставшийся на прежнем месте, но подвергшийся каким-либо деформациям (механическим, тепловым), то наблюдатель увидит объект, покрытый сетью интерференционных полос.

Полосы образуются при интерференции двух когерентных световых волн: отраженной от объекта в момент наблюдения и восстановленной голограммой. Они получаются как бы при интерференции в тонком слое, образованном поверхностями объекта и изображения. Интерференционные полосы являются геометрическим местом точек равных перемещений, получаемых объектом.

Недостатком этого метода является необходимость точнейшего возвращения голограммы в то положение, в котором она была во время экспозиции. Иногда для этой цели фотопластинку обрабатывают на месте, для чего необходимы специальные приспособления.

При интерферометрии с двойной экспозицией на одной голограмме фиксируются два состояния объекта: одно до изменения, второе — после его. При восстановлении голограммы получаются два изображения. Эти изображения расположены близко друг к другу, поэтому наблюдается одно изображение, покрытое сетью интерференционных полос. При интерферометрии с двойной экспозицией можно зафиксировать изменения, произошедшие между двумя экспозициями. Этот метод, в основном, используется при исследовании быстро движущихся объектов и быстропротекающих явлений. Так, например, с помощью импульсного рубинового лазера можно получить детальные изображения ударных волн и турбулентного следа летящей пули.

Метод интерферометрии с усреднением во времени широко используется при изучении вибраций объектов. При получении голограмм этим методом вибрирующий объект экспонируется с выдержкой много большей, чем период колебаний. Каждый период колебания объекта условно можно разбить на три части (рис. 7): 1 — время «остановки» в одном из крайних положений (за этот интервал можно принять время, в течение которого разность хода  $\Delta$  меняется меньше, чем на  $\frac{\lambda}{4}$ ); 2 — такое же время «остановки» в другом крайнем положении; 3 — время быстрого перемещения.

В интервалах 1 и 2 объект поочередно экспонируется в двух крайних положениях и получается интерференционная голограмма, аналогичная методу двух экспозиций. Третья



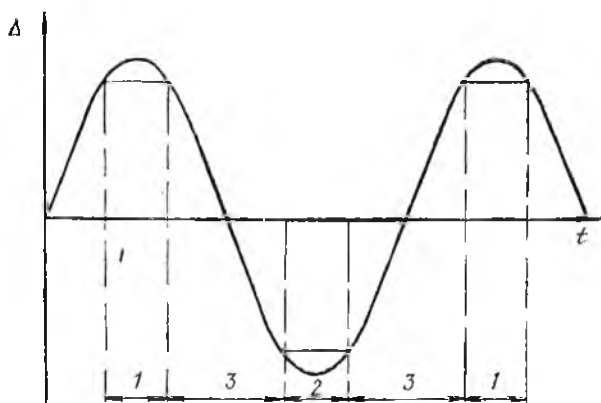


Рис. 7

часть экспозиции не вносит вклада в структуру голограммы, а лишь снижает ее контраст, который становится поэтому тем выше, чем большую часть от полного периода занимает «полезная» выдержка, то есть время «остановки» объекта в крайних положениях. Очевидно, что доля полезной выдержки увеличивается с уменьшением амплитуды колебаний (рис. 8).

Восстановленный волновой фронт голограммы, снятой с усреднением во времени, можно приблизительно рассматривать как волновой фронт голограммы с двойной экспозицией, на которой движущийся объект зарегистрирован в двух крайних его положениях. По таким голограммам обычно изучают распределение амплитуд вибраций объектов сложной формы.

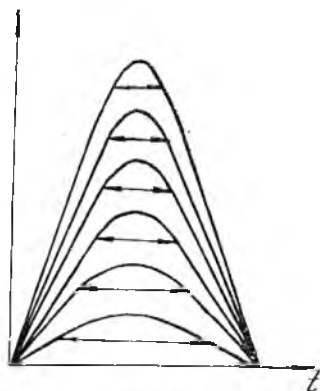


Рис. 8

В традиционной интерферометрии поверхность предмета сравнивается с эталонной поверхностью. Если предмет имеет сложную поверхность, или, тем более, диффузно-отражающую, то изготовление эталонных поверхностей становится чрезвычайно трудным или даже невозможным. В голографической интерферометрии сравниваются поверхности одного предмета в двух состояниях. Это позволяет исследовать пред-

меты сложной формы и даже диффузно-отражающие. Исследования деформаций диффузно-отражающих предметов и было одним из первых применений голографической интерферометрии.

В голографической интерферометрии снижаются и требования к качеству оптики, поскольку любые несовершенства оптических деталей не имеют значения, так как они в равной степени искажают обе интерферирующие волны.

## Задание 22-1

### ПОЛУЧЕНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ГОЛОГРАММ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Приборы и принадлежности: голографический стол, гелий-неоновый лазер ЛГ-38 непрерывного действия, фотопластинки ВР-Л, секундомер.

#### Описание прибора

В голографии возможно применение лишь достаточно когерентных источников света. Различают временную и пространственную когерентность.

Временная когерентность характеризует способность к интерференции световых волн, излучаемых источником в разные моменты времени. Временную когерентность можно характеризовать количественно тем максимальным интервалом времени  $\Delta t$ , в пределах которого излучение сохраняет когерентные свойства, или отрезком пути  $\Delta l$ , который за это время проходит свет. Очевидно, что длина когерентности  $\Delta l$  и время когерентности  $\Delta t$  связаны соотношением  $\Delta l = C \Delta t$ , где  $C$  — скорость света. Длина когерентности связана с шириной спектра линии  $\Delta \lambda$  источника света следующим соотношением:

$$\Delta l = \frac{\lambda^2}{\Delta \lambda} . \quad (7)$$

Разность хода между лучами предметной и опорной волн не должна превышать длины когерентности источника. При-

меняемые в голографии гелий-неоновые лазеры ( $\lambda = 6328 \text{ \AA}$ ) имеют большую длину когерентности излучения. Например, гелий-неоновые лазеры с короткими разрядными трубками (ЛГ-56, ЛГ-209) излучают очень узкие спектральные линии, длина их когерентности составляет десятки метров. Однако мощность таких лазеров мала (0,1—2 мВт). Гелий-неоновые лазеры с длиной резонатора 1—2 метра (ЛГ-36, ЛГ-38) имеют большую мощность (20—30 мВт), но длина когерентности их обычно не превышает десятка сантиметров.

Под пространственной когерентностью источников понимают способность к интерференции световых волн, испускаемых разными участками источника. Обычно лазеры излучают световой поток со сложной структурой в виде характерных пятен. Это так называемые неаксиальные моды (типы колебаний). Излучение с такой структурой обладает низкой степенью пространственной когерентности, поскольку между пятнами этой структуры нет постоянных фазовых соотношений. Обычно в оптической голографии применяют лазеры, имеющие одномодовый режим излучения (ЛГ-36А, ЛГ-38).

В состав данной установки для получения голограмм трехмерных объектов (рис. 9) входят: одномодовый лазер ЛГ-38, светоделительная система из полупрозрачного  $Z_1$  и глухих  $Z_2$ ,  $Z_3$  зеркал, объективы  $L_1$

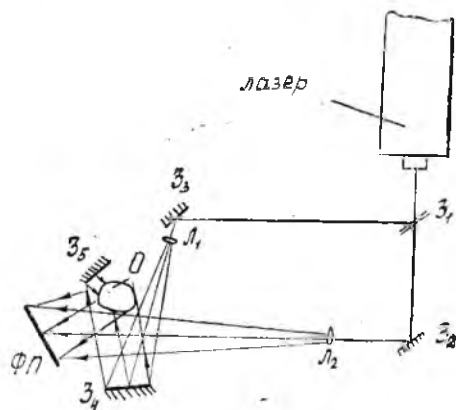


Рис. 9

и  $L_2$ , расширяющие лучи, отражающие зеркала  $Z_4$  и  $Z_5$ , фотопластинка ФП и объект О.

Все элементы установки смонтированы на массивной металлической плите (массой около тонны) с противовибрационной амортизацией (накачаные автомобильные камеры). Это вызвано тем, что смещение любых частей установки во время экспонирования фотопластинки не должно приводить к изменению разности хода между интерферирующими пучками.

При изменении разности хода, равном  $\frac{\lambda}{2}$ , интерференционная картина полностью размывается.

В заключение несколько слов о значении разрешающей способности фотоэмульсии для регистрации голограмм. Для того, чтобы мнимое и действительное изображения не перекрывались при восстановлении голограммы, необходимо, чтобы пучок, создающий когерентный фон, падал на фотопластинку под достаточно большим углом.

Рассмотрим пример. В некоторой точке  $M$  (рис. 10) разность хода между опорной и объектной волной в плоскости фотопластины  $\Phi\Pi$  составляет

$$\delta = AM \sin \theta. \quad (8)$$

Расстояние между светлыми полосами интерференционной картины, возникающей на пластинке ( $\Phi\Pi$ ), равно  $\frac{\lambda}{\sin \theta}$ .

Для  $\theta = 20^\circ$  имеем  $\frac{\lambda}{\sin \theta} \cong 2$  мкм, т. е. 500 линий/мм. Чтобы сфотографировать столь близко расположенные интерференционные полосы, необходимо, чтобы разрешающая способность эмульсии была не ниже 500 линий/мм. Следовательно, разрешающая способность фотоэмульсии в голографии должна быть значительно выше, чем в фотографии, где часто можно довольствоваться разрешающей способностью в 60 линий/мм. В настоящее время в голографии используют эмульсии, разрешающая способность которых достигает 2000, 3000 линий/мм.

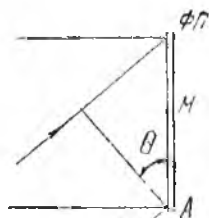


Рис. 10

### Порядок выполнения работы

1. Установить несколько тел на предметный столик голографической установки. Размеры тел выбирают так, чтобы они были полностью освещены предметным расширенным пучком лазера.

2. Включить лазер ЛГ-38. Включение лазера производится в три этапа. Прежде всего тумблером «Накал катода» подается напряжение на прогрев катода. Через две-три минуты необходимо подать высокое напряжение на электроды катод-анод с помощью тумблера «Высокое напряжение». Далее необходимо нажать кнопку «Поджиг», после чего возникает генерация направленного излучения.

При работе с лазером необходимо помнить, что попадание в глаза прямого лазерного излучения опасно для зрения.

Кроме того, при работе с лазером необходимо соблюдать обычные предосторожности, связанные с применением в системе его питания высокого постоянного напряжения (3—4 кВ).

3. Установить детали голографической системы согласно приведенной блок-схеме (см. рис. 9). Установить объективами необходимое расширение лучей. Следить, чтобы лучи попадали на соответствующие им элементы в блок-схеме (не ставьте на голографический стол посторонние предметы, не толкайте его!).

4. Получить фотопластинку у преподавателя и узнать необходимое время экспозиции.

5. Установить фотопластинку в кассету, предварительно закрыв луч лазера черной фотографической бумагой.

6. Произвести экспонирование фотопластинки, убрав бумагу на нужное время (фотопластинку хранить в светонепроницаемом чехле).

7. Выключить лазер.

8. Узнать у преподавателя особенности проявления данных фотоматериалов, проявить их и закрепить фотопластинку.

9. Высушить голограмму.

10. Подготовить установку для восстановления голограмм. Включение лазера произвести в соответствии с требованиями п. 2.

11. Восстановить голограмму трехмерного объекта. Наблюдая двумя глазами, убедиться в трехмерности голографического изображения.

12. Исследовать влияние площади восстановления на качество восстановленного изображения. Для этого часть голограммы закрыть черной бумагой и наблюдать восстановленное изображение, сравнивая его с первоначальным изображением. Прodelать наблюдение несколько раз, используя различную часть площади голограммы.

13. Подписать голограмму с указанием характера записи. Сдать пластинку преподавателю.

Контрольные вопросы в литературе см. в конце 2-го задания.

## ИЗУЧЕНИЕ ВИБРАЦИЙ ОБЪЕКТА ГОЛОГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ МНОГОКРАТНЫХ ЭКСПОЗИЦИЙ

Приборы и принадлежности: голографический стол, одно-модовый гелий-неоновый лазер непрерывного действия (ЛГ-38), звуковой генератор ЗГ1-1, динамик с мембраной фотопластины ВР-Л.

### Описание прибора

В данной работе изучаются колебания мембраны (тонкой резиновой пленки), укрепленной на ободке диффузора громкоговорителя (динамика).

В состав установки для определения амплитуд колебания различных точек мембраны (рис. 11) входят: лазер ЛГ-38, светоделительная система из полупрозрачного зеркала  $Z_1$  и глухих зеркал  $Z_2$  и  $Z_3$ ; объективы  $L_1$  и  $L_2$ , расширяющие лучи; фотопластинка ФП; генератор звуковой частоты ЗГ1-1; динамик Д с мембраной. Динамик Д с мембраной устанавливается так, чтобы диффузно-отраженный свет объектного пучка попадал на фотопластинку ФП.

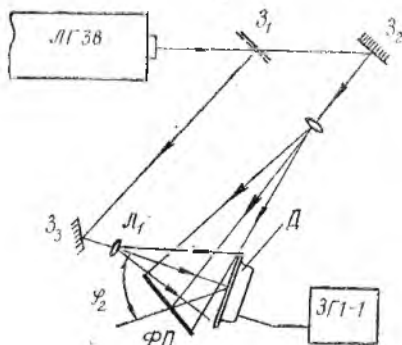


Рис. 11

Все элементы установки, кроме звукового генератора, смонтированы на массивной металлической плите с противовибрационной амортизацией (автомобильные камеры).

**Расшифровка голографических интерферограмм.** Рассмотрим механизм образования на голограмме интерференционных полос (методом усреднения во времени) в случае смещения объекта, схематически изображенном на рис. 12, а. Объектом является диффузно-отражающая пластина, которая

во время экспонирования поворачивается по направлению к голограмме с постоянной угловой скоростью па небольшой угол.

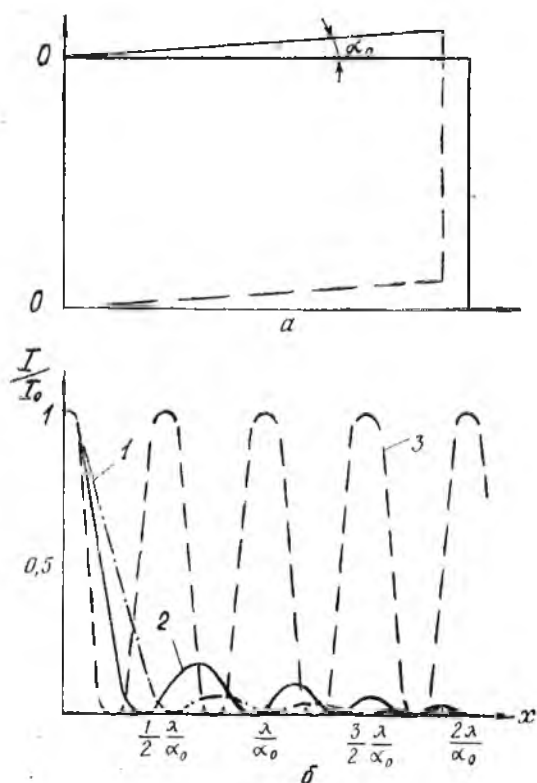


Рис. 12

Предположим, что пластина освещена параллельным пучком света со стороны голограммы. Тогда точки пластины, которые непосредственно прилегают к оси вращения  $OO$  и остаются неподвижными, создадут на голограмме неподвижную интерференционную структуру и при восстановлении изображения будут наиболее яркими. Совокупность этих точек образует плоскости нулевого порядка.

Точки, которые во время экспозиции приблизились к голограмме на  $\alpha_0 x = k \frac{\lambda}{2}$  ( $k$  — целое число), не внесут никакого вклада в интерференционную структуру.



Действительно, для этих точек разность фаз предметной и опорной волны ( $\varphi_1 - \varphi_2$ ) изменится за время экспозиции на  $2k\pi$ . Поскольку среднее значение косинуса при равномерном изменении аргумента на  $2k\pi$  равно нулю, то в соответствии с формулой для амплитуды результирующего колебания получим

$$\bar{A}^2 = \bar{A}_1^2 + \bar{A}_2^2, \quad (9)$$

где  $\bar{A}$ ,  $\bar{A}_1$  и  $\bar{A}_2$  — средние значения амплитуд колебаний световых волн за время поворота пластинки на угол  $\alpha_0 x = k \frac{\lambda}{2}$ .

Восстановленное изображение пластинки будет перерезано эквидистантными темными полосами, между которыми расположены светлые полосы, быстро убывающие по интенсивности. Происхождение светлых полос и быстрое убывание их интенсивности можно объяснить следующим образом. Время выдержки для точек, приблизившихся к голограмме на расстояние, не равное целому числу полуволн, условно разобьем на две части. В первой части точка объекта, приблизившись к голограмме на целое число полуволн, не вносит вклада в ее структуру. Вторая часть выдержки, соответствующая смещению точки на расстояние, меньше чем  $\frac{\lambda}{2}$ , приведет к появлению голографической структуры, так как среднее значение  $\cos(\varphi_2 - \varphi_1)$  при равномерном изменении  $(\varphi_1 - \varphi_2)$  меньше чем  $2\pi$ , не равно нулю.

При этом контраст будет тем меньше, чем меньшую долю полной экспозиции составляет эта вторая часть. Расчеты показывают, что закон изменения интенсивности по поверхности восстановленного изображения пластины будет иметь вид

$$I = I_0 \left( \frac{\sin \frac{2\pi \alpha_0 x}{\lambda}}{\frac{2\pi \alpha_0 x}{\lambda}} \right)^2, \quad (10)$$

где  $I_0$  — интенсивность в изображении неподвижной пластины.

На рис. 12, б зависимость (10) представлена в виде графика 1.

Метод с усреднением во времени (т. е. при длительной однократной экспозиции) позволяет выделить интерференционную полосу нулевого порядка, что существенно облегчает расчет деформаций.

Представим теперь, что пластина, изображенная на рис. 12, а, совершает во время экспозиции угловые колебания с амплитудой  $\frac{\alpha_0}{2}$  по синусоидальному закону. Будем снимать ее голографическим методом многократных экспозиций. В этом случае, так же как и в предыдущем, структура голограммы будет определяться средним значением  $\cos(\varphi_1 - \varphi_2)$  за время выдержки. Однако теперь точки объекта с разной скоростью проходят разные участки своего пути — наиболее медленно они движутся вблизи своих крайних, амплитудных положений. Эти положения вносят основной вклад в структуру голограммы.

Расчеты показывают, что закон изменения интенсивности по поверхности пластины будет в этом случае иметь вид:

$$I = I_0 L^2 \left( \frac{2 \pi \alpha_0 x}{\lambda} \right), \quad (11)$$

где  $L$  — функция Бесселя нулевого порядка.

Зависимость (11) представлена на рис. 12, б графиком 2.

На поверхности восстановленного изображения мембраны имеются интерференционные полосы — линии равных амплитуд.

С увеличением амплитуды колебаний (к центру мембраны) контраст интерференционных полос падает. Зависимость интенсивности светлых полос от амплитуд колебаний точек показана на рис. 12, б графиком 2.

Из графика видно, что линия нулевых амплитуд вибраций наиболее яркая. Она обычно проходит через точки крепления объекта (мембраны). Практически удастся получить интерференционные полосы, если амплитуда колебания не превосходит  $10\lambda$ , а при амплитудах меньших  $0,1\lambda$  темные линии становятся неразличимыми ( $\lambda$  — длина волны излучения применяемого лазера).

Таким образом, метод многократных экспозиций применим для изучения вибраций в диапазоне

$$0,1 \lambda < A < 10 \lambda. \quad (12)$$

Определение амплитуды в любой точке поверхности мембраны производится по формуле

$$A_n \approx \frac{n \lambda}{2 (\cos \varphi_1 + \cos \varphi_2)}, \quad (13)$$

Мембрана

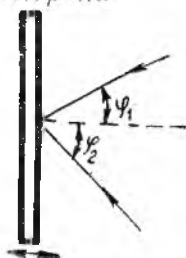


Рис. 13

где  $n$  — порядковый номер интерференционной полосы, отсчитанный от нулевой полосы;

$\lambda$  — длина волны излучения лазера ( $\lambda = 6328 \text{ \AA}$ );

$\varphi_1, \varphi_2$  — углы между направлением колебаний точки объекта (обычно это нормаль к поверхности) и направлением предметного луча, и направлением наблюдения объекта (рис. 13)

### Порядок выполнения работы

1. Установить детали голографической установки согласно схемы, приведенной на рис. 11.

2. Включить лазер. Для этого необходимо проделать следующие операции:

тумблером «Накал катода» подать напряжение на прогрев катода;

через 2—3 минуты включить тумблер «Высокое напряжение»;

через 0,5—1 минуту нажать кнопку «Поджиг», при этом должна возникнуть генерация направленного излучения.

3. Произвести юстировку оптической схемы установки. Добиться равномерного освещения поверхности мембраны и фотопластины (в этом случае на ее место устанавливается вспомогательный экран) когерентным фоном.

4. Подать от звукового генератора ЗГГ-1 на динамик Д синусоидальные колебания с частотой 200—600 Гц.

5. Получить фотопластинку у преподавателя и узнать необходимое время экспонирования.

6. Закрыть луч лазера экраном из черной фотографической бумаги и поставить фотопластинку в рамку.

7. Произвести экспонирование фотопластины, убрав экран на нужное время.

8. Произвести обработку фотопластины (проявить, закрепить в прорыть ее, узнав у преподавателя особенности проявления данных фотоматериалов).

9. Выключить лазер.

10. Высушить голограмму.

11. Подготовить установку для восстановления голограмм. Включение лазера произвести в соответствии с требованиями п. 2.

12. Восстановить голограмму и зарисовать интерференционную картину, наблюдаемую на мнимом изображении мембраны.

13. Найти положение нулевой интерференционной полосы.
14. Определить число полос  $n$  до заданной точки мембраны.
15. Определить амплитуду колебаний  $A_n$  в данной точке мембраны, используя выражение (13).

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какое различие между голографией и фотографией?
2. Каким образом на фотопластинке можно зафиксировать амплитуду и фазу световой волны, рассеиваемой объектом?
3. Какие явления волновой оптики используются при записи голограммы и восстановлении с нее изображения?
4. Нарисуйте известную вам схему получения голограммы трехмерного объекта.
5. Какую роль выполняет опорный луч в схеме?
6. Что представляет собой голограмма точки? Рассмотреть процесс получения голограммы точки.
7. Чем, по вашему, отличается реальная голограмма точечного источника света от зонной решетки, приведенной на рис. 2 данной работы?
8. Роль какого оптического элемента может выполнять голограмма точечного источника света?
9. Расскажите о восстановлении световой волны записанной на голограмме точки.
10. Расскажите о записи и восстановлении изображения трехмерного объекта.
11. Какие лучи образуют действительное и какие мнимое изображение предмета на голограмме?
12. Почему даже с части голограммы (например, с ее осколка) можно восстановить полное изображение объекта?
13. Как, по вашему, может быть получена искусственная голограмма несуществующего объекта?
14. Что такое временная когерентность?
15. Что понимается под пространственной когерентностью источника?
16. Что называется длиной когерентности?
17. Почему нужно выравнивать пути, пройденные опорным и предметным лучами?
18. Какие требования предъявляются к источникам света в голографии?
19. Почему голографическая установка расположена на массивной плите, установленной на амортизационной подушке?
20. Каковы основные требования, предъявляемые к фотоматериалам, применимым в голографии?
21. В чем преимущество голографической интерферометрии перед обычными интерференционными методами?
22. Расскажите о методе многократных экспозиций.
23. Как определить амплитуду колебания в точке поверхности колеблющегося тела?
24. Как находится положение нулевой полосы?
25. Почему при голографировании не предъявляются повышенные требования к качеству оптических деталей установки?

## ЛИТЕРАТУРА

- Ландсберг Г. С.* Оптика. М., 1976, § 57—60, 67.  
*Савельев И. В.* Курс общей физики, т. 3, М., 1973, с. 518—521.  
*Сороко Л. М.* Основы голографии и когерентной оптики, М., 1971.  
*Островский Ю. И.* Голография, М., 1970.  
*Горохов Ю. Г., Неплюев Л. И.* Голография в приборах и устройствах. М., 1974.

Составители:

*Олег Анатольевич Журавлев,  
Лидия Ивановна Федосова*

ГОЛОГРАФИИ

Лабораторная работа

Редактор И. М. Чулкова  
Техн. редактор Н. М. Каленюк  
Корректор Т. В. Полякова

Сдано в набор 17.06.77 г. Подписано к печати 27.03.78 г.

Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага оберточная белая.

Литературная гарнитура. Высокая печать. Усл. п. л. 1,17.

Уч.-изд. л. 1,25. Тираж 2000 экз. Заказ № 935. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени  
авиационный институт имени академика С. П. Королева,  
Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151

---

Типография УЭЗ КуАИ, Куйбышев, ул. Ульяновская, 18