

4.3.5 (401). ИЗУЧЕНИЕ ГОЛОГРАММЫ

ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ

31 июля 2015 г.

В работе используются: лазер, голограммы, оптический стол с набором рейтеров, набор линз, предметная шкала, экран, линейка.

Экспериментальная установка. В работе исследуются голограммы точечного источника и трёхмерного объекта. Эти голограммы записаны на фотопластинках типа ЛОИ-2, имеющих высокое разрешение: $\simeq 5000$ линий/мм. При записи был использован гелий-неоновый лазер с длиной волны излучения $\lambda = 632,8$ нм.

В работе требуется определить расстояние d между голограммой и точечным источником света. Это расстояние можно рассчитать по формуле (3.88) Введения к разделу, если измерить радиусы p_m нескольких колец

$$p_m = \sqrt{m\lambda z_0} = \sqrt{m\lambda d}. \quad (3.88)$$

Здесь m – № кольца, λ – длина волны, z_0 – расстояние от точечного источника до фотопластинки Γ ($z_0 = d$).

Но размеры колец в нашей голограмме слишком малы для непосредственных измерений ($d \simeq 1$ см, $\lambda \simeq 0,6$ нм, $p \simeq 0,1$ мм), поэтому требуется получить увеличенное изображение голограммы. Это изображение получается при помощи короткофокусной линзы L на экране Θ (рис. 1).

Согласно формуле (3.85) при просвечивании голограммы Γ (рис. 1) точечного источника плоской волной с амплитудой $f_0 = \text{const}$, на выходе имеются три волны: плоская с амплитудой $f_1 = \text{const}$, расходящаяся сферическая волна $f_2 \propto e^{ikr}$, отвечающая мнимому изображению O_2 , и сходящаяся сферическая волна $f_3 \propto e^{-ikr}$, отвечающая действительному изображению O_3 . После прохождения линзы L волна f_1 собирается в фокусе линзы в точке O'_1 , волны f_2 и f_3 фокусируются соответственно в точках O'_2 и O'_3 . Изображение, возникающее на экране Θ , можно рассматривать как результат интерференции сферических волн от трёх точечных источников: O'_1 , O'_2 и O'_3 . Поэтому картина концентрических колец возникает на экране не только тогда, когда на нём образуется изображение Γ' голограммы, но и при многих других положениях линзы. Это легко проверить экспериментально.

Таким образом, чтобы определить радиусы колец, следует убедиться, что на экране действительно возникло изображение голограммы, то есть плоскости Γ и Γ' сопряжены. Для этого в плоскость Γ вместо голограммы помещают прозрачную предметную шкалу, на которую нанесён тонкий крест с делениями. В этом случае увеличенное изображение креста получается при единственном положении линзы для определённого расстояния между предметом и экраном.

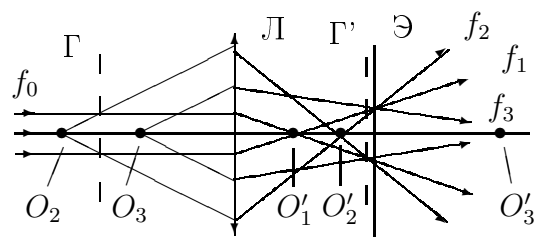


Рис. 1. Схема установки:

Γ — голограмма точечного источника

Предметная шкала и голограмма точечного источника смонтированы на платформе в единую плоскую кассету транспарантов (шкала — в отверстии № 1, голограмма — в отверстии № 2). Такая же предметная шкала, закреплённая в отдельной оправе, используется в качестве предмета при определении фокусного расстояния голографической линзы.

Кроме голограммы точечного источника в работе исследуется голограмма объёмного предмета. Предмет представляет собой горизонтально расположенную миллиметровую линейку, за которой расположен вертикальный металлический стержень. При записи голограммы предмет располагался на расстоянии 10 см от пластинки. Фотопластинка была обращена к предмету той стороной, на которую нанесена эмульсия. Голограмма установлена в оправе вертикально и может поворачиваться вокруг вертикальной оси. Для измерения угла поворота служит транспортир, закреплённый под голограммой в горизонтальной плоскости.

Источником света служит лазер с диаметром луча < 1 мм. В опытах с объёмной голограммой требуются более широкие световые пучки. Для расширения пучка используются две линзы: короткофокусная — с фокусным расстоянием < 2 мм и длиннофокусная — с фокусным расстоянием $f \simeq 8$ см. Собранный из этих линз расширитель создаёт пучок диаметром 4–5 см (это диаметр длиннофокусной линзы).

При проведении опытов оптические элементы размещаются на массивном оптическом столе и могут перемещаться вдоль оптической оси и в перпендикулярной ей плоскости. Расстояния измеряются линейкой. Фокусные расстояния линз указаны на их оправках.

ЗАДАНИЕ

А. Изучение характеристик голограммы точечного источника

В работе предлагается рассчитать расстояние от голограммы до точечного источника, который использовался при её создании:

- а) по результатам измерения радиусов голографических колец, спроецированных на удалённый экран при помощи короткофокусной линзы;
- б) по результатам измерения параметров проекционной установки, в которой голограмма используется как фокусирующая линза, а объектом служит предметная шкала.

**Избегайте прямого попадания лазерного луча в глаз.
Это крайне опасно для Вашего зрения!!**

1. Настройка установки. Определение цены деления предметной шкалы

1. Включите лазер. Для определения цены деления предметной шкалы установите кассету с транспарантами вблизи лазера (используйте выступ лабораторного стола для упора рейтера; плоскость с транспарантами расположите на дальнем конце от лазера). Осветите лучом лазера шкалу (отверстие № 1 в кассете транспаранта) и получите на удалённом экране дифракционную картину, созданную крестообразной шкалой.

Определив расстояние Δx между дифракционными максимумами на экране и расстояние L от шкалы до экрана, рассчитайте цену деления D по известной формуле для дифракции Фраунгофера: $\lambda/D = \Delta x/L$.

2. Определите цену деления той же шкалы, используя линзу с фокусным расстоянием $F \simeq 4$ см: получите в центре экрана увеличенное изображение предметной шкалы с чёткими делениями.

Измерьте расстояния от линзы до предметной шкалы a и до экрана b и рассчитайте увеличение системы. Определите расстояние D' между изображениями штрихов и рассчитайте цену деления D предметной шкалы по формуле линзы. Сравните результаты, полученные разными методами. Какой из методов точнее в наших условиях?

II. Определение расстояния от голограммы до точечного источника

3. Получите на экране голограмму точечного источника: для этого, перемещая кассету перпендикулярно лучу с помощью винта поперечной подачи (или плавно перемещая рейтер вдоль упора), осветите окно № 2 с голограммой. Перемещая голограмму по высоте, добейтесь того, чтобы три световых пятна на экране были расположены на одной высоте. Затем, совместив все три пятна, получите на экране изображение голограммы (набор концентрических колец правильной формы). Сместя линзу вдоль луча на несколько миллиметров (при необходимости), получите наиболее контрастное изображение колец. Приложите к экрану лист бумаги, отметьте на нём радиусы нескольких тёмных колец и измерьте эти радиусы линейкой. Зная увеличение системы, рассчитайте размеры колец на голограмме, а затем по формуле (6') оцените расстояние d от голограммы до точечного источника, который был использован при её создании.

4. Перемещая линзу вдоль луча, получите на экране изображение сначала мнимого O_2 , а затем действительного O_3 точечного источника. Для каждого изображения измерьте необходимые геометрические размеры установки и, зная фокус линзы, рассчитайте расстояния от точечных источников до голограммы.

5. Снова получите на экране изображение голограммы (совместите три световых пятна). Перемещая кассету перпендикулярно оптической оси, сместите изображение голограммы на границу светового пятна. Опять получите изображения действительного и мнимого источников и определите их расстояния до голограммы. Объясните, почему изображение источника смещено относительно оси системы.

III. Изучение фокусирующих свойств голограммы

В этом опыте сама голограмма выполняет роль короткофокусной линзы. В качестве транспаранта, увеличенное изображение которого требуется получить с помощью голографической линзы, используется предметная шкала, закреплённая в отдельной оправе (цены деления этой шкалы и шкалы, закреплённой в кассете, одинаковы).

6. Сначала небольшим перемещением голограммы по вертикали и вращением вокруг вертикальной оси добейтесь полного разделения пучков света на удалённом экране. По размерам световых пятен определите, какой из пучков соответствует действительному O_3 , а какой — мнимому O_2 изображению точки (для этого можно приблизить переносной экран почти вплотную к голограмме).

7. Установите переносной экран на расстоянии $\simeq 50$ см за голограммой (отсчёт всегда ведётся от источника света). Перед голограммой (вплотную к ней) поставьте предметную шкалу, закреплённую в отдельной оправе. Отодвигая рейтер со шкалой от голограммы, получите в одном из пятен резкое изображение делений крестообразной шкалы (рис. 1 поможет Вам определить, в котором из трёх пятен следует искать это изображение).

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 , рассчитайте расстояние от линзы до предмета, а затем по формуле линзы — фокусное расстояние голографической линзы.

Сравните между собой найденные во всех опытах расстояния от точечного источника до голограммы.

Б. Изучение характеристик голограммы объёмного предмета

В работе предлагается, рассматривая сквозь голограмму мнимое изображение предмета, образованное голограммой,

а) оценить угол падения опорной волны, который был выбран при создании голограммы;

б) убедиться, что изображение предмета восстанавливается по небольшой части голограммы;

в) оценить расстояние между линейкой и стержнем.

Кроме того, предлагается провести наблюдение действительного изображения изображения предмета, чтобы

г) определить, чем отличаются изображения при повороте голограммы на 180° вокруг вертикальной оси;

д) проследить за изменением масштабов изображений при освещении голограммы сферической волной.

IV. Юстировка системы

8. Соберите на оптическом столе расширитель пучка. Для этого определите положение лазерного пятна на удалённом экране; установите линзу с фокусным расстоянием 8–9 см на расстоянии $\simeq 50$ см от экрана и, перемещая линзу в плоскости, перпендикулярной оптической оси, совместите центр светового пятна с точкой, где располагалось пятно в отсутствие линзы.

9. На расстоянии $\simeq 10$ см перед длиннофокусной линзой установите короткофокусную линзу с $f \simeq 2$ мм. Перемещая короткофокусную линзу в плоскости,

перпендикулярной лучу, вновь совместите центр светового пятна с его первоначальным положением.

10. Перемещением короткофокусной линзы вдоль луча добейтесь того, чтобы из собранного расширителя выходил параллельный пучок: при полном заполнении светом длиннофокусной линзы диаметр пятна на удалённом экране равен диаметру линзы, при неполном — удобно контролировать размер пятна, перемещая вдоль луча переносной экран.

V. Изучение мнимого изображения

11. Поместите голограмму в расширенный пучок лазера фотоэмульсией к лазеру и найдите мнимое изображение предмета. Для этого расположитесь за экраном с правой стороны. Медленно поворачивая голограмму вокруг вертикальной оси и перемещая глаз в горизонтальной плоскости на высоте луча, найдите изображение линейки в окне голограммы. Проследите за тем, как меняется ориентация мнимого изображения при перемещении глаза наблюдателя (убедитесь, что изображение объёмное).

12. По углу поворота голограммы оцените угол падения опорной волны, который был выбран при получении голограммы.

13. Постепенно закрывая голограмму листом бумаги, убедитесь в том, что изображение предмета восстанавливается даже по небольшой части голограммы. Объясните это явление.

14. Подумайте, как оценить расстояние от линейки до вертикального стержня, расположенного за ней, фиксируя по транспортиру угол, под которым наблюдается изображение. Оцените это расстояние.

15. Проведите наблюдение мнимого изображения предмета, используя в качестве лупы линзу с фокусным расстоянием 20 см.

VI. Изучение действительного изображения

16. Найдите действительное изображение предмета: голограмма должна при этом располагаться перпендикулярно падающему пучку света, глаз наблюдателя — с левой стороны от экрана на расстоянии от пластинки 50–80 см. Поскольку это изображение расположено между пластинкой и глазом, удобно рассматривать его через лупу.

Обратите внимание, что по мере удаления лупы от глаза, сначала видно резкое изображение стержня, и только потом — линейки. Объясните это явление.

17. Поверните голограмму на 180° вокруг вертикальной оси (фотоэмульсией от лазера). Найдите действительное и мнимое изображения. При каких углах падения восстанавливающей волны они возникают? Чем и почему отличаются эти изображения от наблюдаемых ранее?

18. Снова разверните голограмму эмульсией к лазеру. Перемещая короткофокусную линзу расширителя вдоль луча, определите, как изменяются масштабы действительного и мнимого изображений. Объясните эти изменения.

31-VII-2015 г.