

М. Франсон

Голография

Москва
«Книга по Требованию»

УДК 53
ББК 22.3
М11

М11

М. Франсон

Голография / М. Франсон – М.: Книга по Требованию, 2021. – 246 с.

ISBN 978-5-458-37388-3

Попытайтесь, разглядывая обычную фотографию, заглянуть за предметы, находящиеся на переднем плане. Вам это, конечно, не удастся. Ведь фотография — это плоское изображение объемной сцены, полученное из определенной точки зрения. Голография же позволяет это сделать. Световые волны, записанные и восстановленные голограммой, создают полную иллюзию реальности наблюдаемых предметов — объемность, цвет, возможность изменения ракурса. Голография — это способ регистрации и последующего восстановления световых волн, получивший в последние годы широкое развитие благодаря изобретению лазеров. Книга знакомит с основами голографии. Две первые главы ее доступны студентам и школьникам старших классов. Последние же главы рассчитаны на более подготовленного читателя и могут служить введением в теорию голографии.

ISBN 978-5-458-37388-3

© Издание на русском языке, оформление

«YOYO Media», 2021

© Издание на русском языке, оцифровка,

«Книга по Требованию», 2021

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, кляксы, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА ПЕРЕВОДА

Имя известного французского оптика проф. М. Фраисона хорошо знакомо в нашей стране. Книга «Голография», перевод которой мы с удовольствием представляем советскому читателю, уже четвертая его монография, переведенная на русский язык (ранее были выпущены в русском переводе книги [208, 12*, 13*]¹).

Перевод настоящей книги осуществлен с французского издания, вышедшего в 1969 г. Однако автор любезно прислал нам дополнения и изменения специально для русского издания. В частности, нам заново написана глава 4, посвященная синтетическим голограммам, расширен параграф об акустической голограммии, изменен и дополнен текст ряда других параграфов. Кроме того, по просьбе автора мы значительно дополнили список литературы, главным образом работами советских авторов, а также статьями и книгами, опубликованными после выхода в свет французского издания.

Книга не относится к разряду всеобъемлющих монографий и не рассчитана на специалистов в области голограммии. С этой точки зрения правильнее было бы назвать ее «Начала голограммии» или «Введение в голограммии». Приложениям голограммии и экспериментальной технике в ней уделено мало внимания, что этот недостаток в значительной степени компенсируется обширной библиографией.

¹) Здесь и далее звездочкой (*) отмечена литература, добавленная редактором перевода.— Прим. ред.

Книга Франсона построена весьма своеобразно, практически весь материал рассматривается в ней дважды: сначала (в главах 1 и 2) с большим педагогическим искусством объясняется физический смысл явлений почти без математики; а затем (в главах 3 и 5) те же вопросы обсуждаются более строго, с привлечением обычного для когерентной оптики математического аппарата — автор вводит здесь читателя в круг идей и методов современной голографии.

Первые две главы и добавленная при переводе глава 4 доступны для студентов и старших школьников. Для понимания же главы 3 и особенно главы 5 требуются не только более глубокие познания в области физики, но и сведения из некоторых разделов математики, выходящих за пределы обычных курсов, читаемых в технических вузах. Недостаточно подготовленный читатель может их ощущать.

Мы сочли целесообразным снабдить книгу рядом подстрочных примечаний, либо уточняющих авторский текст, либо облегчающих его понимание.

Из соображений удобства дополнительный список литературы разбит на тематические рубрики. К сожалению, такое разделение условно и неоднозначно, поскольку многие работы могут быть одновременно отнесены к нескольким разделам. Заметим, что дополнительный список, как и основной, ви в крой мере не претендует на полноту.

Считаем своим приятным долгом поблагодарить проф. М. Франсона за активное участие в подготовке русского издания.

В редактировании главы 5 большую помощь оказал В. К. Соколов, которому мы также приносим свою благодарность.

Ю. И. Островский

ПРЕДИСЛОВИЕ

Возможности применения голографии сделали ее одной из важнейших областей современной оптики. Она позволяет поставить простые, элегантные и перспективные эксперименты. Восстановление цветных трехмерных изображений, дающих полное ощущение объемности,—одна из самых ярких и впечатляющих ее возможностей. Не следует забывать о замечательных результатах, достигнутых с помощью голографии во многих других областях, особенно в интерферометрии, где она позволяет наблюдать интерференцию волн, зарегистрированных в разные моменты времени. Естественно, что фундаментальные законы оптики при этом не затрагиваются, так как при каждой регистрации на фотопластинкупадает свет, прошедший сквозь объект, и когерентная опорная волна. Амплитуда света, прошедшего сквозь негатив, линейно зависит от первоначальной освещенности, которая связана с произведением комплексной амплитуды света, прошедшего сквозь объект, на амплитуду когерентного фона. Если сделать несколько последовательных снимков с одним и тем же когерентным фоном и одинаковым временем экспозиции, амплитуда света, прошедшего сквозь негатив, будет пропорциональна сумме амплитуд, соответствующих разным снимкам. Таким образом волны, зарегистрированные в разные моменты времени, при восстановлении могут интерферировать.

Голография впервые дала возможность интерферометрически исследовать объекты, диффузно рассеивающие свет, и это, может быть, одна из самых интересных ее возможностей. Трехмерная голограмма диффузно рассеивающего объекта восстанавливает изображение, которое можно совместить с самим объектом. Объект и голограмма освещаются так же, как в момент регистрации.

Изображение интерферирует с объектом, и если объект деформируется, то объект и изображение не совпадают. Это изменяет разность хода лучей и приводит к появлению интерференционных полос, характеризующих деформацию.

Голография имеет очень важное применение в микроскопии. Пусть длина волны света, используемого для регистрации голограммы λ , а для восстановления λ' . Изображение будет увеличено в отношении λ'/λ . Если зарегистрировать голограмму в рентгеновских лучах, а восстанавливать ее в видимом свете, то можно получить такое же увеличение, как в электронном микроскопе. Но такой микроскоп пока еще область будущего.

Возможности применения голографии не ограничиваются оптикой. Успехи акустической голографии открывают широкие перспективы ее использования в медицине, геофизике и даже в археологии.

Излагая настоящее введение в голографию, мы считали полезным напомнить сначала некоторые элементарные понятия, в особенности касающиеся пространственной и временной когерентности света. Новое издание в основном следует тому же плану, что и предыдущее.

Во второй главе мы описываем принципы голографии и ее применения без математических выкладок. Мы надеемся, что это облегчит понимание физического механизма голографии.

Параграф, посвященный акустической голографии, изложен более подробно, чем в прежнем издании.

В третьей главе мы возвращаемся к основным принципам голографии, привлекая теорию интерференции и дифракции.

Добавлена новая глава (гл. 4) о применении электронно-вычислительных машин в голографии. В ней изложены основы получения искусственных голограмм.

Наконец, последнюю главу, посвященную вопросам оптической фильтрации и распознавания образов, мы переделали и упростили, не затрагивая существа рассматриваемых вопросов.

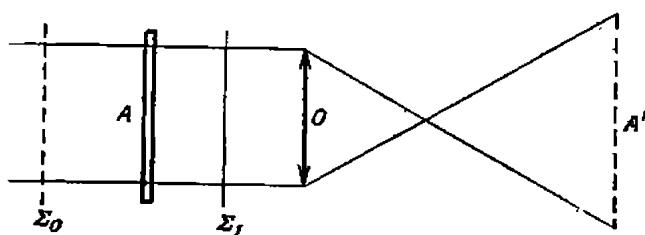
Количество оригинальных работ по голографии так велико, что мы не смогли пропитировать их все и просям авторов извинить нас. Приведенные ссылки не исчерпывают всей литературы по вопросам, к которым они относятся. Эти ссылки имеют целью помочь читателям ориентироваться.

Глава 1

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

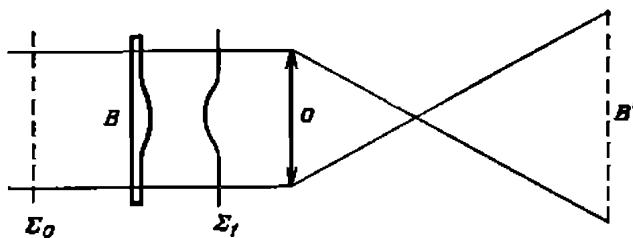
§ 1. ИЗМЕНЕНИЕ АМПЛИТУДЫ И ФАЗЫ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ

Рассмотрим объект A , освещенный параллельным пучком света (фиг. 1. 1). Объект A представляет собой тонкую стеклянную пластинку, толщина которой везде одинакова, а прозрачность отдельных участков различна. Это может быть, например, фотопластинка с изображением пейзажа. Амплитуда падающей плоской световой волны одинакова во всех точках плоскости Σ_0 . В плоскости же Σ_1 , прошедшей сквозь объект A , меняется от точки к точке соответственно прозрачности отдельных участков объ-



Фиг. 1.1. Волна Σ_1 проходит сквозь амплитудный объект A .

екта. Построим с помощью идеального объектива O изображение A' объекта A . Амплитуда световой волны в некоторой точке изображения A' определяется прозрачностью соответствующего участка объекта A . Объект A , называемый амплитудным объектом, воз-



Ф и г. 1.2. Волна Σ_1 проходит сквозь фазовый объект B .

действует на амплитуду проходящей сквозь него волны. Поместим в плоскости изображения A' какой-нибудь чувствительный элемент, например фотопластинку, или воспроизведем A на сетчатке глаза с помощью оптической системы, не показанной на фиг. 1.1. Во всех случаях реакция прибора, будь то сетчатка глаза, фотопластинка или фотоумножитель, определяется интенсивностью света, т. е. квадратом амплитуды световой волны.

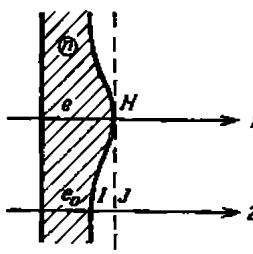
Заменим амплитудный объект A объектом B (фиг. 1.2). Пусть это будет абсолютно прозрачная тонкая стеклянная пластина переменной толщины с постоянным показателем преломления n . Для простоты предположим, что одна из ее сторон плоская, а другая искривлена. Если в некоторой точке пластиинка имеет толщину e (фиг. 1.3), то ее оптическая толщина в этой точке (равная произведению геометриче-

ской толщины на показатель преломления) равна ne . Луч 1 проходит в пластинке оптический путь ne . Пусть плоскость HJ параллельна плоской поверхности пластиинки. Луч 2, пересекающий пластиинку в точке, где ее толщина равна e_0 , проходит оптический путь ne_0 в пластиинке и путь $JJ' = e - e_0$ в воздухе. Разность оптических путей лучей 1 и 2, которую называют также разностью хода лучей 1 и 2, равна

$$\delta = ne - (ne_0 + e - e_0) = (n - 1)(e - e_0). \quad (1.1)$$

Если параллельный пучок света монохроматичен и имеет длину волны λ , то изменению разности хода δ , возникающему за счет неоднородности толщины пластиинки, соответствует изменение фазы $\varphi = 2\pi\delta/\lambda$. Амплитуда волны, прошедшей сквозь объект B , не меняется, так как объект абсолютно прозрачен, тогда как фронт волны Σ , деформируется вследствие изменения ее фазы (фиг. 1.2). На участках плоскости, соответствующих малой оптической толщине, фаза волны больше, чем на участках, соответствующих большой оптической толщине. Объект B , называемый фазовым объектом, воздействует на фазу проходящей сквозь него волны, не изменяя ее амплитуды.

Построим с помощью объектива O изображение B' объекта B . Амплитуда световой волны (или интенсивность, пропорциональная квадрату амплитуды) одинакова во всех точках B' , а фаза меняется от точки к точке. Так как любой приемник (глаз, фотопластиинка,



Фиг. 1.3. Разность оптических путей лучей 1 и 2 равна $(n - 1)(e - e_0)$.

фотоумножитель и т. д.) независимо от способа наблюдения нечувствителен к изменениям фазы, изображение B' будет казаться однородным.

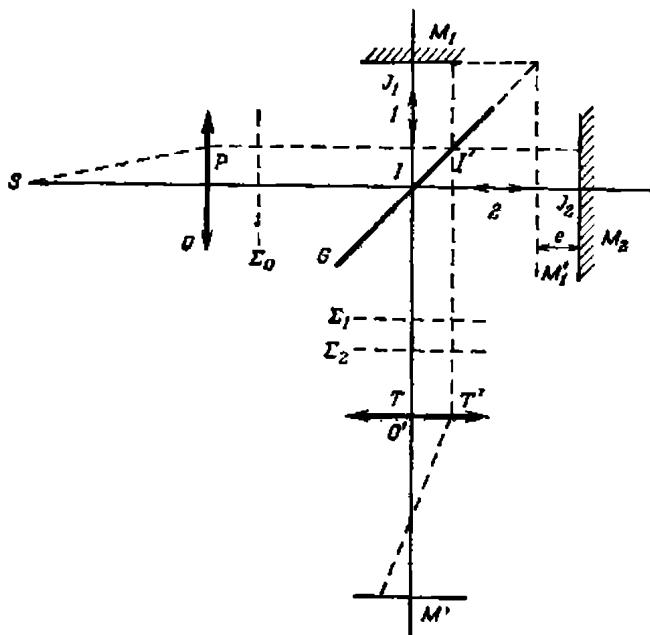
**§ 2. МОЖНО ЛИ ОБНАРУЖИТЬ
ИЗМЕНЕНИЕ ФАЗЫ ВОЛНЫ,
ПРОШЕДШЕЙ СКВОЗЬ ПРОЗРАЧНЫЙ ОБЪЕКТ?**¹⁾

Уже очень давно научились регистрировать и делать видимыми изменения фазы световой волны, прошедшей, например, сквозь прозрачную стеклянную пластинку, показатель преломления которой или толщина различны в разных точках. Мы укажем два наиболее важных метода: интерференционный метод и метод фазового контраста.

Рассмотрим интерферометр Майкельсона (фиг. 1.4). Он состоит из полуопрозрачной пластиинки G , наклонной под углом 45° к падающему световому пучку, и двух плоских зеркал M_1 и M_2 . Установим зеркала M_1 и M_2 таким образом, чтобы они были перпендикулярны друг другу и составляли угол 45° с пластинкой G . Источником света в интерферометре Майкельсона служит точечный источник S , помещенный в фокусе объектива O . Источник S дает монохроматический свет с длиной волны λ . Для простоты рассмотрим только луч, распространяющийся вдоль оптической оси объектива O и перпендикулярный M_2 . В точке I этот луч разделяется на два луча. Один из них отражается сначала от G , затем от M_1 и, пройдя сквозь G в точке I , распространяется вдоль IT . Это путь 1. Другой луч, пройдя сквозь G в точке I , отражается сначала от M_2 , затем в точке I от G и распространяется в дальнейшем опять-таки вдоль IT . Это путь 2. Таким об-

¹⁾ См. [348, 12*].

разом, плоская волна Σ_0 , полученная на выходе объектива O , разделяется в точке I пластиинки G на две плоские волны. Одна из этих волн, Σ_1 , проходит путь I ,



Фиг. 1.4. Принцип устройства интерферометра Майкельсона.

другая Σ_2 — путь 2. Если зеркала M_1 и M_2 симметричны относительно G , то Σ_1 и Σ_2 совпадают. Если же зеркало M_2 находится на расстоянии e от плоскости M'_1 , симметричной плоскости зеркала M_1 , то фронт волны Σ_1 отстает от Σ_2 на $2e$. Разность хода лучей, прошедших путь 1 и путь 2, равна $\delta=2e$.

Волны Σ_1 и Σ_2 будут интерферировать друг с другом. По элементарным законам интерференции ин-

тенсивность в произвольной точке IT пропорциональна $\cos^2(\pi\delta/\lambda)$. Такие же результаты получаются для любого другого луча PI' . В точке I' этот луч разделяется на два луча. После того как один из них пройдет путь типа 1, а другой — путь типа 2, оба они распространяются вдоль $I'T'$. Разность их хода также равна $\delta - 2e$. Какой бы участок зеркала M_1 или M_2 мы ни рассматривали, разность хода лучей будет постоянной. С помощью объектива O' построим изображение M' зеркала M_1 (или M_2). Пусть, как обычно, расстояние e очень мало, и можно считать, что изображения M_1 и M_2 практически совпадают в плоскости изображения M' . Так как разность хода δ остается постоянной для всех лучей, освещенность во всех точках изображения M' одинакова и пропорциональна $\cos^2(\pi\delta/\lambda)$. Имеем изображение с постоянной освещенностью. Перемещая зеркало M_1 (или M_2) параллельно самому себе, мы изменяем разность хода δ , или, иначе говоря, освещенность изображения M' . Но при каждом заданном значении δ освещенность одинакова во всех точках M' . Другими словами, мы имеем однородное изображение, во всех точках которого интенсивность изменяется при изменении расстояния e одновременно и одинаковым образом.

Поместим теперь в интерферометр какой-нибудь объект, действующий на фазу волны. Пусть это будет, например, прозрачная стеклянная пластина B с постоянным показателем преломления, но переменной толщины. Объект B может быть расположен на пути лучей 1 или 2. В случае, изображенном на фиг. 1.5, он помещен между G и M_2 . Волна Σ_1 проходит путь 1. Волна Σ_2 , распространяясь по пути 2, дважды проходит сквозь объект B . Фазовый объект B деформирует фронт волны Σ_2 , как мы показали это в § 1.