**Интерференция и дифракция**

Дифракция света. При внесении тела в заданное электромагнитное поле заряженные частицы начинают совершать вынужденные колебания, излучение от которых вносит искажения в исходное распределение света. В случае тел, размеры которых велики по сравнению с длиной волны, эти процессы хорошо описываются на языке геометрической оптики (как отражение, преломленое и поглощение света). В противном случае принято говорить о явлении дифракции. Строгое (в рамках волновой теории света) решение задачи о дифракции существует лишь для частного случая круглого однородного тела в поле плоской монохроматтической волны (теория Ми) и дается весьма громозкими формулами. Сравнительно простое приближенное решение получается в случае бесконечной поглощающей поверхности (экран) с отверстиями заданной формы и с заданным пропусканием света для точек, достаточно удаленных от них (дифракция Френеля). Метод решения последней задачи был “угадан” Гюйгенсом, уточнен Френелем и лишь впоследствии был строго выведен Кирхгофом на основе волновой теории и уравнений Максвелла: электромагнитное поле вдали от экрана может рассчитываться как суперпозиция сферических волн, испускаемых каждой его открытой точкой.

В соответствии с принципом Гюйгенса-Френеля плоский волновой фронт волны, прошедший через большое отверстие, остается плоским вдали от его краев и изгибается у границы (рис. 18\_1). Это означает, что световые лучи (множество нормалей к фронту) у границ отверстия изгибаются (дифрагируют). При уменьшении размеров отверстия роль дифракции возрастает. Отверстия, размеры которого сравнимы с длиной волны, превращает плоскую волну в сферическую. При прохождении света через такие отверстия приближение геометрической оптики становится неприменимым, основанные на ее принципах оптические приборы теряют свою работоспособность. Из-за явления дифракции принципиально невозможно получить оптическое изображение объекта или его деталей, размеры которых не превосходят длины волны излучения.

Теория Кирхгофа. В основе теории дифракции Френеля лежит математическое тождество, позволяющее связать значения любой являющейся решением уравнения Д’Аламбера функции E(r) в произвольной точке внутри замкнутой области с ее значениями на поверхности, ограничивающей эту область (интеграл Кирхгофа):

(1) .



Правдоподбное (но не совсем точное) предположение о том, что поле электромагнитной волны за непрозрачным экраном равно нулю, а искажения, вносимые переизлученным полем на открытых отверстиях малы позволяют получить для поля во всех точках за экраном выражение, согласующееся с принципом Гюйгенса-Френеля. На рис 18\_2 приведена фотография распределения интенсивности света, дифрагировавшего на небольшом отверстии прямоугольной формы, и результат расчетов интенсивности по формуле (1).

Интерференция. В предельном случае дифракции на экране с бесконечно-малыми отверстиями (математически описываемыми при помощи дельта-функций) говорят об интерференции, наблюдаемой методом деления волнового фронта. Христоматийным примером подобного рода экспериментов является опыт Юнга (рис. 18\_3). В зависимости от разности хода вторичные сферические волны, возникающие на отверстиях экрана 1 и 2 при дифракции первичной сферической волны от точечного монохроматического источника S, в точке X происходит сложение или вычитание электромагнитных колебаний. В результате возникает интерференционная картинка в виде чередующихся светлых и темных полос. В 19 веке считалось, что опыты по интерференции являются неопровержимым свидетельством волновой природы света (при прохождении пучка классических частиц через два отверстия в экране интерференционной картины, очевидно, возникать не может).



Другим примером сложения колебаний является интерференция в тонких пленках (метод деления волнового фронта), при которой складываются электромагнитные волны, отразившиеся от двух поверхностей (рис. 18\_4). В зависимости от соотношения между толщиной пленки и длиной волны излучения наблюдается усиление или ослабление цвета. При освещении белым светом (смесь с различными длинами волн) возникает зависящая от толщины цветная окраска пленки (например, радужные разводы на пятне нефти в воде). Описанный способ окраски используется в природе: пестрая расцветка крыльев бабочек обусловлена не наличием красящего пигмента, а интерференцией света в тонких прозрачных чашуйках крыльев. В технике интерференционные покрытия используются для создания зеркал с высоким коэффициентом отражения (“диэлектрические зеркала”) и для просветления оптики (гашения волн, отраженных от многочисленных поверхностей линз сложных объективов).

Интерфереметрические измерения. Высокая чувствительность наблюдаемой картины распределения интенсивностей к разности хода интерферирующих пучков лежит в основе целого класса сверх точных приборов, называемых интерферометрами.

На рис. 18\_5 изображен интерферометр Майкельсона, использованный в решающих экспериментах по проверке постулата о постоянстве скорости света. В приборе сравниваются фазы двух волн, распространяющихся во взаимно перпендикулярных плечах интерферометра. В зависимости от разности хода наблюдается усиление или ослабление света на выходе прибора. Этот прибор может использоваться для прицезионных измерение длины: при перемещении зеркала вдоль измеряемого объекта подсчет "миганий" интерференционной картины позволяет определить длину пройденного пути с точностью до четверти длины волны источника света (около 100 нм). Другим "впечатляющим" применением интерферометра является измерение сверх-малых скоростей движения (несколько сантиметров в год): сползание ледников, дрейф материков и т.д.

Поскольку время распространения света в плечах интерферометра зависит не только от их длин, но и от показателя преломления прозрачной среды, с помощью интерференции можно производить точный анализ наличия малых химических примесей в веществе, вызывающих изменеие показателя преломления.

Голография нашла применение не только в производстве изопродукции, но и в современной науке и технике. В отличии от фотографии, на которой осуществляется запись распределения интенсивности на плоскости изображения, создаваемого на пластинке методами геометрической оптики, голограмма сохраняет информацию не только об интенсивности слагающих электромагнитное поле волн, но и их фазе. Это позволяет практически полностью восстанавливать электромагнитное поле, создаваемое голографируемым объектом и вызывать зрительное ощущение реального объемного тела. В известном смысле голограмма аналогична зеркалу, продолжающему генерировать изображение после ухода смотревшейся в него девушки).

Производство высококачественных гологамм стало возможным после создания лазеров - мощных источников монохроматического излучения, способных давать устойчивую интерференционную картину даже при больших разностях хода интерферииующих пучков. При записи голограммы (рис. 18\_6) фотографируется сложная интерференционная картина, возникающая при сложении идущей непосредственно от лазера плоской монохроматической волны ("опорной волны") с рассеяной объектом "предметной волны", фронты которой могут представлять собой весьма сложные поверхности. Считывание проявленной голограммы осуществляется при помощи того же лазера (рис. 18\_7). В результате дифракции опорной волны на сложном узоре, возникшем при фотографировании интерференционной картины возникает две симметричные волны, одна из которых практически идентична предметной и формирует мнимое изображение объекта. Вторая волна создает "инвертированное" изображение, которое в практических приложениях стремятся подавить.

В настоящее время широкое использование нашли толстые голограммы, со слоем фотоэмульсии, существенно превосходящим длину волны записывающего излучения. На такой голограмме регистрируется пространственная структура интерференционной картины. Такая трехмерная структура пропускает через себя только излучение с длиной волны, совпадающей с той, на которой записывалась голограмма. Т.о. для восстановления изображения толстой голограммой нет необходимости в освещении монохроматичесим источником: пластинка сама "выбирает" их белого света составляющую, на которой она создавалась.

Комбинация из трех голограмм, записанныз в красных, зеленых и синих лучах создает цветное объемной изображение объекта.

Обращение волнового фронта и динамическая голография. Проблема обащения волнового вронта (ОВФ) возникла в связи с практически важной задачей фокусировки мощного лазерного излучения на небольших и возможно движущихся объектах (передача энергии, связь, "звездные войны" и т.д.). Задача еще более усложняется в случае, когда источник излучения и мишень разделены толстым слоем нестационарной атмосферы: статистические флуктуации плотности приводят, согласно принципу Ферма, к искривлению лучей света (или, точнее, к искажению волнового фронта) и расфокусировке пучка.

Поставленная проблема могла бы быть решена в случае создания хорошо отражающего свет зеркала, поверхность которого принимала бы форму фронта падающей на него волны (ОВФ - зеркала). В этом случае мишень можно было бы облучать сравнительно слабым источником света с широкой диаграммой направленности излучения. Часть фронита отраженной от мишени и искаженной атмосферой волны может быть пропущена через оптический усилитель (слой вещества, усиливающего проходящие через него световые волны, но не изменяющего никаких их характеристик, кроме амплитуды колебаний) и направлена на ОВФ- зеркало (рис. 18\_7), при отражении от которого форма волнового фронта не изменится, а направление его распространения изменится на противоположное. После еще одного усиления волна пройдет через все искажающие неоднородности атмосферы в обратном направлении (время распространения света на расстояниях порядка толщины атмосферы намного меньше характерного времени перераспределения неоднородностей) и полностью сфокусируется на мишени.

Существует несколько подходов к созданию ОВФ - зеркала: гибкая отражающая пленка, форма которой расcчитывается быстродействующим компьютером; обращение волнового фронта, возникающее вследствие нелинейного процесса вынужденного комбинационного рассеяния, голографические методы ОВФ (динамическая голография). Идея последнего подхода очевидна из соображений симметрии: при облучении тонкой голограммы считывающей волной, направленной точно навстречу использованной при записи опорной, одна из двух дифрагированных волн будет распространяться навстречу предметной, т.е. точно в направлении объекта (рис. 18\_8). Проблема быстрого (по сравнению со скоростью изменения атмосферы) создания голограммы решается методами нелинейной оптики: существуют вещества, практически мгновенно становящиеся прозрачными под воздействием возникающего в максимумах интерференционной картины излучения большой интенсивности, которые и используются в качестве "фотопластинок" в динамической голографии.

ОВФ уже сейчас используется в реально действующих экспериментальных установках по управляемому лазерному термоядерному синтезу, где приходится решать задачу одновременной фокусировки разогревающего излучения нескольких сверх мощных лазеров на небольшой дейтериевой мишени. С точки зрения теории решение проблемы ОВФ представляет самостоятельный интерес, поскольку представляет собой пример восстановления упорядоченного излучения после его искажения на хаотической структуре. Иногда о процессе ОВФ говорят как об обращении во времени классически необратимого процесса или даже просто об обращении времени.