

изображения и напряжением, которое действует в генераторе ультразвуковых волн.

Очевидно, что схема рис. 114 может быть изменена на обратную. Для этого достаточно заменить экранчик, загораживающий центральное изображение, большим экраном со щелью, пропускающей только это изображение. Яркость центрального изображения, а следовательно, и количество прошедшего в этом случае света будут

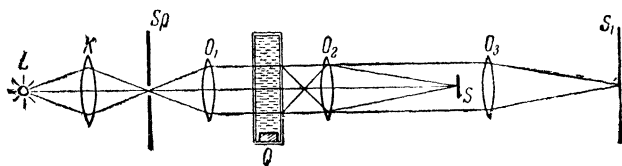


Рис. 116. Схема модулирования света.

убывать с увеличением напряжения в генераторе, так как чем выше напряжение, тем больше света рассеивается в стороны благодаря дифракции и не проходит в щель.

Напряжение генератора регулируется приходящими радиосигналами. Преимущество такого модулятора света состоит в его большой светосиле.

### § 33. Дифракция от мелких частиц

Почти во всех описанных выше дифракционных явлениях мы имели дело с препятствиями, значительно большими, чем длина волны. При этом можно было считать, что объекты, вызывающие явление дифракции, экранируют часть фронта волны, пропуская остальную неизменной. Из фронта волны вырезается кусок, так же как из большого листа бумаги вырезается ножницами кусок. На самом деле у края любого экрана происходит искривление фронта волны, так же как край вырезанного куска бумаги всегда несколько загнут, особенно если вырезать тупыми ножницами. Однако это искривление распространяется на столь малое пространство, что у объектов, превышающих длину волны в сотни раз, им можно пренебречь по сравнению с заслоняющим действием экрана.

Изменение формы волны делается существенным, когда экран сравним по размерам с длиной волны или значительно меньше ее. В этих случаях характер дифракционной картины будет уже зависеть от материала и формы краев экрана в отличие от условий опыта Френеля. Например, при распространении длинных радиоволн вдоль земной поверхности сказывается весьма сильно проводимость Земли. Здесь размер волн и препятствий очень велик (несколько километров).

В тумане размер частиц очень мал ( $0,5—1,0$  мк), однако при прохождении света сквозь туман размер этих частиц так же соизмерим с длиной диффрагированных волн (длина волны зеленого света  $0,5$  мк). В результате дифракции каждая маленькая частица рассеивает свет весьма сложным образом. На рис. 117 представлено

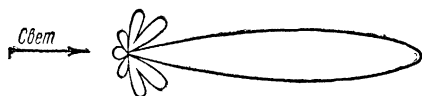


Рис. 117. Рассеяние света на частице, большей, чем длина световой волны.

распределение интенсивности света, рассеянного частицей с диаметром, по величине равным длине волны. Примерно такой же характер должно иметь рассеяние рентгеновых лучей на отдельном атоме. Частицы, малые по сравнению с длиной волны, рассеивают одинаковое количество света вперед и назад; распределение рассеянного света имеет в этом случае симметричный характер (рис. 118).

Чем частица больше (или длина волны меньше), тем больше и рассеянный световой поток и тем сильнее он направлен вперед. Частицы, весьма малые по сравнению с длиной световой волны, рассеивают свет по закону, выведенному Релеем. Можно рассматривать излучение таких малых частиц как результат вынужденных колебаний электрических зарядов под влиянием переменного электрического поля волны. Отдельные частицы, попадающие в поле световой волны, начинают излучать поляризованный рассеянный свет с интенсивностью, пропорциональной четвертой степени частоты или обратно пропорциональной четвертой степени длины волны.

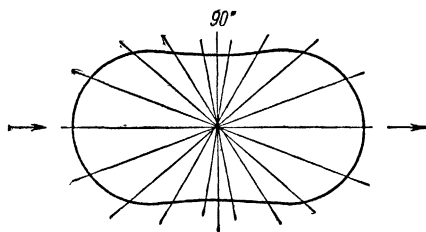


Рис. 118. Рассеяние света на частице, значительно меньшей, чем длина световой волны.

Солнечный свет, рассеянный отдельными микроскопическими уплотнениями воздуха (флуктуациями плотности), всегда образующимися в атмосфере, создает видимое свечение неба.

Гениальный художник и выдающийся ученый Леонардо да Винчи уже догадывался о причине синевы неба. Он писал: «Воздушная синева рождается от телесной плотности освещенного воздуха, находящегося между верхним мраком и землею». Синева неба является результатом рассеяния по закону Релея: синие лучи с малой длиной волны рассеиваются почти в 16 раз сильнее, чем красные. То же явление обуславливает красный цвет утренней и вечерней зорь: солнечные лучи проходят при этом толстый слой воздуха и теряют вследствие рассеяния, по закону Релея, главным образом синие лучи малой длины волны. Поэтому само солнце и небо в непосредственной близости от него окрашены в красный цвет.

Инфракрасные лучи, обладающие большей длиной волны, чем лучи видимого света, при прохождении сквозь атмосферу рассеиваются значительно слабее последних. Это обстоятельство используют в тех случаях, когда нужно получить фотографию дальнего ландшафта, отдаленного от наблюдателя «дымкой» туманного воздуха. Фотографии, полученные с помощью специальных пластинок, «очувствленных» к инфракрасным лучам, снятые сквозь светофильтр, не пропускающий видимого света, показывают далекие объекты, невидимые глазу из-за дымки, на расстояниях, достигающих иногда нескольких сотен километров.

Астрономы фотографируют планету Венеру, окруженную плотной атмосферой, в ультрафиолетовых и инфракрасных лучах. Вид планеты в ультрафиолетовых лучах соответствует самому внешнему слою ее атмосферы, так как из глубоких слоев атмосферы вследствие большого рассеяния эти лучи не выходят наружу. Напротив, инфракрасные лучи проходят даже сквозь довольно плотные облачные образования, и фотографии в этих лучах позволяют наблюдать поверхность планеты, невидимую для глаза.

Любопытно отметить, что сам Релей считал причиной синевы неба рассеяние света на отдельных молекулах воздуха, а не на флуктуациях плотности, однако Л. И. Мандельштам в 1907 г. показал, что вследствие слишком малых расстояний между отдельными молекулами нельзя объяснить наблюдаемые эффекты рассеянием на отдельных молекулах.

Для газов строгая теория приводит к той же формуле Релея, но для жидкостей и твердых тел появляются существенные отличия. Для кристаллов особенно просто показать, почему световая волна должна распространяться без рассеяния в среде с расстоянием между соседними структурными элементами (атомы или молекулы), значительно меньшими, чем длина световой волны.

Согласно формуле Вульфа — Брега

$$\sin \vartheta = m \frac{\lambda}{2d}. \quad (15)$$

Так как синус не может быть больше единицы, то уравнение (15) при  $\lambda > 2d$  имеет решение только для  $m=0$ , что соответствует  $\vartheta=0$ , т. е. исчезают все главные максимумы, кроме нулевого, совпадающего по направлению с падающим световым лучом. Рассеяние света в боковых направлениях ( $\vartheta \neq 0$ ) отсутствует, происходит только изменение скорости распространения света (см. дисперсию).

Неравенство  $\lambda > 2d$  представляет условие *оптической однородности среды*.

Тиндаль создавал в лаборатории искусственные условия для наблюдения интенсивного рассеяния света на мелких частицах (*эффект Тиндаля*). С этой целью он пропускал свет через трубку,

наполненную парами соляной кислоты и нитрозобутана. Происходящая химическая реакция вызывала появление очень мелких частиц, остававшихся взвешенными в газе. Частицы были, что весьма существенно, очень однородны по размерам. Тиндаль, смотря на трубку сбоку, наблюдал рассеянный свет. Он пишет: «Мы наблюдали синий свет, который соперничал с цветом самого глубокого и чистого неба Италии, если не превосходил его».

Существенно подчеркнуть, что дифракционная картина от хаотически расположенных частиц тождественна картине, даваемой отдельной частицей, но в соответствующее число раз ярче. Объясняется это тем, что разности хода между колебаниями, идущими от отдельных частиц, изменяются самым хаотичным образом. Никакой интерференционной картины этих колебаний не возникает, так как при некогерентных источниках интенсивности (не амплитуды), рассеянные отдельными частицами, просто складываются.

Цветные кольца, окружающие источники света в тумане или при наблюдении сквозь запотевшее окно, как раз и представляют собой дифракцию такого типа. Диаметр колец зависит только от размера капелек воды.

Другим важным случаем является дифракция рентгеновых лучей в парах и газах. Благодаря хаотическому расположению молекул наблюдаемые здесь картины опять-таки зависят только от формы и размеров отдельной молекулы, но в соответствующее число раз ярче, чем картины, даваемые отдельной молекулой. Это позволяет применять дифракцию рентгеновых лучей для исследования структуры молекул и атомов. Так, было непосредственно показано, что молекула бензола действительно представляет собой правильный плоский шестиугольник, что в молекуле четыреххлористого углерода  $CCl_4$  хлор расположен в вершинах тетраэдра и т. д.

### § 34. Разрешающая способность оптических инструментов. Звездный интерферометр

Исходя из волновых представлений, можно очень наглядно разработать действие обычных оптических инструментов. При этом, во-первых, получаются все те выводы, которые уже были получены методами геометрической оптики, но они приобретают более физический характер и, во-вторых, получается один очень важный новый вывод, никак не вытекающий из геометрической оптики.

Каждая светящаяся точка  $A$  (рис. 119) испускает расходящиеся сферические волны. С волновой точки зрения роль выпуклой линзы  $CD$  сводится к тому, что она превращает расходящиеся волны в сходящиеся в точке  $B$ , называемой изображением. Достигается это тем, что линза сильнее замедляет движение сферических волн в их центральных частях по сравнению с краями. Ведь чем ближе к центру  $O$ , тем больший путь в стекле проходит световая волна, а в стекле ско-