

1. Упругая металлическая пластина длиной l жестко закреплена на одном конце (см. рис. 4.24). Нарисуйте профиль стоячих волн, которые можно возбудить в этой пластине. Каковы собственные частоты пластины, если скорость распространения волн в ней равна v ?
2. Один камертон закреплен в тисках, а другой такой же камертон установлен на резонаторном ящике. Продолжительность звучания какого камертона больше?
3. Колеблущаяся с определенной амплитудой пластина создает волны один раз в воде, а другой раз в воздухе. В каком случае амплитуда колебаний давления в волне больше и почему?

§ 4.16. ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ ВОЛН

До сих пор мы почти все время имели дело с одной волной, распространяющейся от источника. Однако очень часто в среде одновременно распространяется несколько различных волн. Например, когда в комнате беседуют несколько человек, то отдельные звуковые волны накладываются друг на друга. Что при этом происходит?

Сложение волн

Проще всего проследить за этим явлением, наблюдая волны на поверхности воды. Если мы бросим в воду два камня, создав этим две кольцевые волны, то нетрудно заметить, что каждая волна проходит сквозь другую и ведет себя в дальнейшем так, будто другой волны совсем не существует. Точно так же любое число звуковых волн может одновременно распространяться в воздухе, ничуть не мешая друг другу. Множество музыкальных инструментов в оркестре или голосов в хоре создают звуковые волны, одновременно улавливаемые нашим ухом. Причем ухо в состоянии отличить один звук от другого.

Теперь посмотрим более внимательно, что происходит в местах, где волны накладываются друг на друга. Наблюдая волны, возникающие на поверхности воды от двух камней, мы можем заметить, что некоторые участки поверхности не возмущены, в других же местах возмущение усилилось.

Если две волны встречаются в одном месте гребнями, то в этом месте возмущение воды усиливается.

Если же, напротив, гребень одной волны встречается с впадиной другой, то возмущения поверхности воды не будет.

Вообще же в каждой точке среды колебания, вызванные двумя волнами, складываются. Результирующее смещение любой частицы среды представляет собой сумму смещений, которые происходили бы при распространении одной из волн в отсутствие другой.

Интерференция

Сложение в пространстве двух (или нескольких) волн, при котором образуется постоянное во времени распределение амплитуды результирующих колебаний в различных точках пространства, называется интерференцией. Стоячая волна — пример интерференции двух волн, бегущих в противоположные стороны.

Выясним, при каких условиях происходит интерференция волн. Для этого рассмотрим более подробно наложение волн на поверхности воды.

Можно одновременно возбудить две круговые волны в ванне с помощью двух шариков, укрепленных на стержне, который совершает гармонические колебания (рис. 4.33). В любой точке M на поверхности воды (рис. 4.34) будут складываться колебания, вызванные двумя волнами (от источников O_1 и O_2). Амплитуды колебаний, вызванных в точке M обеими волнами, будут, вообще говоря, отличаться, так как волны проходят различные пути d_1 и d_2 . Но если расстояние l между источниками много меньше этих путей ($l \ll d_1$ и $l \ll d_2$), то обе амплитуды можно считать практически одинаковыми.

Результат сложения волн, приходящих в точку M , будет зависеть от разности фаз между ними. Пройдя различные расстояния d_1 и d_2 , волны имеют разность хода $\Delta d = d_2 - d_1$. Если разность хода равна длине волны λ , то вторая волна будет за-

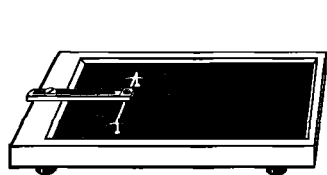


Рис. 4.33

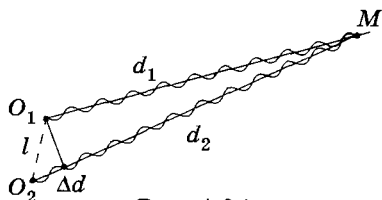


Рис. 4.34

паздывать по сравнению с первой на один период (как раз за период волна проходит путь, равный длине волны). Следовательно, в этом случае гребни (как и впадины) обеих волн будут совпадать.

Условие максимумов

На рисунке 4.35 изображена зависимость от времени смещений s_1 и s_2 , вызванных двумя волнами, при $\Delta d = \lambda$. Разность фаз колебаний равна нулю (или, что то же самое, 2π , так как период синуса равен 2π). В результате сложения этих колебаний возникает результирующее колебание с удвоенной амплитудой. То же самое будет происходить, если на отрезке Δd укладывается не одна, а любое целое число длин волн.

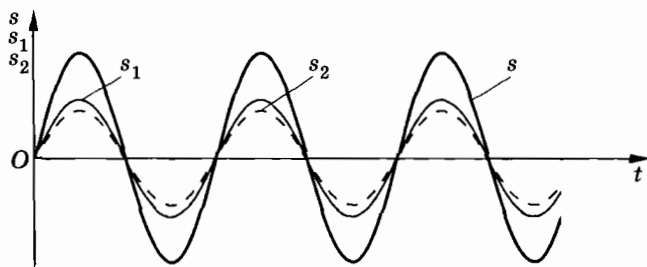


Рис. 4.35

Амплитуда колебаний среды в данной точке будет максимальной, если разность хода двух волн, возбуждающих колебания в этой точке, равна целому числу длин волн*:

$$\Delta d = k\lambda, \quad (4.16.1)$$

где $k = 0, 1, 2, \dots$

Условие минимумов

Теперь посмотрим, что произойдет, если на отрезке Δd укладывается половина длины волны. Очевидно, что вторая волна будет отставать от первой на половину периода. Разность фаз окажется равной π , т. е. колебания будут происходить в

* Это справедливо лишь при условии, что фазы колебаний обоих источников совпадают.

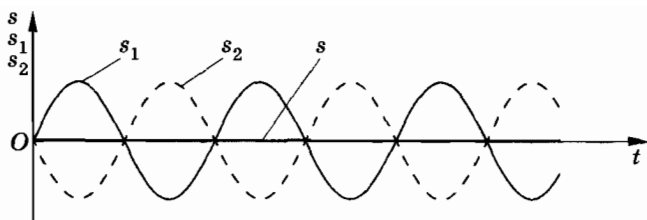


Рис. 4.36

противофазе. В результате сложения этих колебаний амплитуда результирующего колебания равна нулю и в рассматриваемой точке колебаний нет (рис. 4.36). То же самое произойдет, если на отрезке укладывается любое нечетное число полуволн.

Амплитуда колебаний среды в данной точке минимальна, если разность хода двух волн, возбуждающих колебания в этой точке, равна нечетному числу полуволн:

$$\Delta d = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}. \quad (4.16.2)$$

Если разность хода $d_2 - d_1$ принимает промежуточное значение между λ и $\frac{\lambda}{2}$, то амплитуда результирующего колебания принимает некоторое промежуточное значение между удвоенной амплитудой и нулем. Но наиболее важно то, что амплитуда колебаний в любой точке не меняется с течением времени. На поверхности воды возникает определенное распределение амплитуд колебаний, которое называют *интерференционной картиной* (рис. 4.37).

Когерентные волны

Для получения устойчивой интерференционной картины необходимо, чтобы источники волн имели одинаковую частоту и фазы их колебаний совпадали или отличались на некоторую постоянную (не зависящую от времени) величину. Иначе говоря, разность фаз колебаний обоих источников должна оставаться неизменной. Источники, удовлетворяющие этим условиям, называются *когерентными*. Когерентными называют и созданные ими волны.

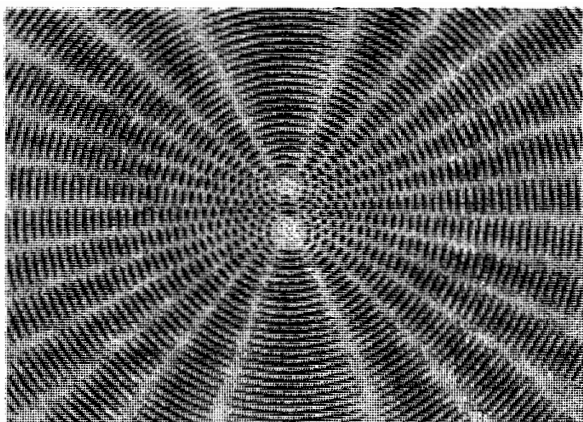


Рис. 4.37

Только при сложении когерентных волн образуется устойчивая интерференционная картина.

Если же разность фаз колебаний источников не остается постоянной, то в любой точке среды будет меняться разность фаз колебаний, возбуждаемых двумя волнами. Поэтому амплитуда результирующих колебаний будет меняться с течением времени. В результате максимумы и минимумы перемещаются в пространстве и интерференционная картина размывается.

Интерференция присуща волновым процессам любой природы. Можно, в частности, наблюдать интерференцию звука.

Обнаружение интерференционной картины доказывает, что мы имеем дело с волновым процессом.

Распределение энергии при интерференции

Волны несут энергию. Что же с этой энергией происходит при гашении волн друг другом? Может быть, она превращается в другие формы и в минимумах интерференционной картины выделяется тепло? Ничего подобного. Наличие минимума в данной точке интерференционной картины означает, что энергия сюда не поступает совсем. Вследствие интерференции происходит перераспределение энергии в пространстве. Она не распределяется равномерно по всем частицам среды, а концентрируется в максимумах за счет того, что в минимумы совсем не поступает.