Отдельные частицы любого тела — твёрдого, жидкого или газообразного — взаимодействуют друг с другом. Поэтому если какая-либо частица тела начинает совершать колебательные движения, то в результате взаимодействия между частицами это движение начинает с некоторой скоростью распространяться во все стороны.

Процесс распространения колебаний в пространстве с течением времени называется волновым процессом.

Последовательное возникновение колебаний в точках, удалённых от источника, называется волной.

Наиболее отчётливо главные особенности волнового движения можно увидеть, если рассматривать волны на поверхности воды (рис. 5.1). Это могут быть, например, волны, которые представляют собой бегущие вперёд округлые валы. Расстояния между валами, или гребнями, примерно одинаковы. Однако если на поверхности воды, по которой бежит волна, находится лёгкий предмет, например лист с дерева, то он не будет увлекаться вперёд волной, а начнёт совершать колебания вверх и вниз, оставаясь почти на одном месте.

При возбуждении волны происходит процесс распространения колебаний, но не перенос вещества.

Скорость волны. Важнейшей характеристикой волны является скорость её распространения. Волны любой природы распространяются в пространстве не мгновенно. Их скорость конечна. Если, например, представить, что над морем летит чайка, причём так, что она всё время оказывается над только что возникшим (передним) гребнем волны, то скорость волны в этом случае равна скорости чайки.

Поперечные волны. Если один конец шнура закрепить и, слег- £.Л ка натянув шнур рукой, привести другой его конец в колебательное движение, то по шнуру побежит волна (рис. 5.2). Каждый участок шнура обладает массой и упругостью. При деформации сдвига в любом сечении шнура появляются силы упругости. Эти силы стремятся возвратить шнур в исходное положение. За счёт инертности участок колеблющегося шнура не останавливается в положении равновесия, а проходит его, продолжая двигаться до тех пор, пока силы упругости не остановят этот участок. Это будет в момент максимального отклонения от положения равновесия.

Волны, у которых колебания частиц совершаются в направлении, перпендикулярном направлению распространения волны, называются поперечными (рис. 5.3).

Когда мы говорим о колебаниях частиц среды, то имеем в виду колебания малых объёмов среды, а не колебания молекул.

Скорость волны будет тем больше, чем сильнее натянут шнур.

Рассмотрим теперь процесс распространения поперечной волны на модели — цепочке одинаковых металлических шаров, подвешенных на нитях. Шары связаны между собой пружинками (рис. 5.4). Масса пружинок много меньше массы шаров. В этой модели инертные и упругие свойства разделены: масса сосредоточена в основном в шарах, а упругость — в пружинках. Это разделение несущественно при рассмотрении волнового движения.

Если отклонить левый крайний шар в горизонтальной плоскости, например вдоль оси У, перпендикулярно всей цепочке шаров, то прикреплённая к нему пружинка будет деформирована и на 2-й шар начнёт действовать сила, заставляя его отклоняться в ту же сторону, куда отклонён 1-й шар. Вследствие инертности движение 2-го шара не будет происходить синхронно с 1-м. Его движение, повторяющее движение 1-го шара, будет запаздывать по времени.

Если 1-й шар заставить колебаться с периодом Т (рукой или с помощью какого-либо механизма), то 2-й шар тоже придёт в колебательное движение вслед за 1-м, причём с той же частотой, но с некоторым отставанием по фазе. Шар 3-й под действием силы упругости, вызванной смещением 2-го шара, тоже начнёт колебаться, ещё более отставая по фазе от 1-го и т. д. Наконец все шары станут совершать колебания с одной и той же частотой, но с различными фазами. Таким образом распространяется поперечная волна.

На рисунке 5.5, а—е изображён процесс распространения волны. Показаны положения шаров в последовательные моменты времени, отстоящие друг от друга на четверть периода колебаний (вид сверху). Стрелки у шаров — это векторы скоростей их движения в соответствующие моменты времени.

Сдвиг слоёв относительно друг друга в газах и жидкостях не приводит к появлению сил упругости. Поэтому в газах и жидкостях, в отличие от твёрдых тел, не могут существовать поперечные волны.

Поперечные волны возникают в твёрдых телах.

Продольные волны. Но колебания частиц среды могут происходить и вдоль направления распространения волны (рис. 5.6).

Волны, у которых колебания частиц совершаются вдоль направления распространения волны, называются продольными.

Продольную волну удобно наблюдать на длинной мягкой пружине большого диаметра. Ударив ладонью по одному из концов пружины (рис. 5.7, а), можно заметить, как сжатие (упругий импульс) бежит по пружине. С помощью серии последовательных ударов можно возбудить в пружине волну, представляющую собой последовательные сжатия и растяжения пружины, бегущие друг за другом (рис. 5.7, б).

Итак, в продольной волне происходит деформация сжатия и растяжения. Силы упругости, связанные с этой деформацией, возникают как в твёрдых телах, так и в жидкостях и газах. Эти силы вызывают колебания отдельных участков среды.

Продольные волны могут распространяться во всех упругих средах, т. е. в твёрдых телах, жидкостях и газах.

На модели упругого тела в виде цепочки массивных шаров, связанных пружинками (рис. 5.8, а), можно наблюдать также и процесс распространения продольных волн. Шары подвешены в этот раз так, чтобы они могли колебаться только вдоль цепочки. Если 1-й шар привести в колебательное движение с периодом Т, то вдоль цепочки побежит продольная волна, состоящая из чередующихся уплотнений и разрежений шаров (рис. 5.8, б). Этот рисунок соответствует рисунку 5.5, е для случая распространения поперечной волны.

В твёрдых телах скорость продольных волн больше скорости поперечных

Различие этих скоростей учитывается при определении расстояния до очага землетрясения до сейсмической станции. Вначале на станции регистрируется продольная волна. Спустя некоторое время регистрируется поперечная волна, возбуждаемая при землетрясении одновременно с продольной. Зная время запаздывания поперечной волны, можно определить расстояние до очага землетрясения.

Энергия волны. При распространении механической волны движение передаётся от одних частиц среды к другим. С передачей движения связана передача энергии. Основное свойство всех волн независимо от их природы состоит в переносе ими энергии без переноса вещества. Энергия поступает от источника, возбуждающего колебания начала шнура, струны и т. д., и распространяется вместе с волной. Через любое поперечное сечение, например шнура, передаётся энергия. Эта энергия слагается из кинетической энергии движения частиц среды и потенциальной энергии их упругой деформации. Постепенное уменьшение амплитуды колебаний частиц при распространении волны связано с превращением части механической энергии во внутреннюю.

Рассмотрим физические характеристики волны — длину волны и скорость волны.

Длина волны. После того как колебания при распространении поперечной волны достигнут 13-го шара, 1-й и 13-й шары будут колебаться совершенно одинаково. Когда 1-й шар находится в положении равновесия и движется влево (если смотреть вдоль цепочки шаров; см. рис. 5.5, д), то и 13-й шар находится в положении равновесия и тоже движется влево. Колебания этих шаров происходят в одинаковых фазах.

Длиной волны называется кратчайшее расстояние между точками, колеблющимися в одинаковых фазах.

Длина продольной волны согласно рисунку 5.8, б равна расстоянию между 4-м и 16-м шарами или между 2-м и 14-м шарами.

При распространении волны частицы среды (шары в рассматриваемой модели) колеблются в одинаковых фазах, если расстояние между ними равно п X (где п — целое число). Между этими частицами фазы колебаний частиц различны.

За один период волна распространяется на расстояние X (см. рис. 5.5, д), следовательно.

Дадим ещё одно определение длины волны.

Длина волны — это расстояние, на которое распространяется волна за время, равное одному периоду колебаний.

Так как период Т и частота v связаны соотношением то и соответственно.

При распространении волны вдоль шнура мы наблюдаем два вида периодичности.

Во-первых, каждая частица шнура совершает периодические колебания во времени. В случае гармонических колебаний (эти колебания происходят по формуле синуса или косинуса) частота и амплитуда колебаний частиц одинаковы во всех точках шнура. Эти колебания различаются только фазами.

Во-вторых, в каждый момент времени форма волны (т. е. профиль шнура) повторяется на протяжении шнура через отрезки длиной X. На рисунке 5.9 чёрной линией показан профиль шнура в определённый момент времени t (мгновенный снимок волны). С течением времени этот профиль перемещается.