

только на частотах ω , превышающих $\omega_{кр}$. Однако в некоторых случаях (многопроводные линии передачи, полые акустич. волноводы) существуют моды, для к-рых $\omega_{кр}=0$, их наз. главными или квазистатическими.

При больших ω В. становится сверхразмерным (поперечные размеры В. значительно превышают длину волны); тогда в нём одновременно распространяется множество мод, к-рые при определ. соотношениях между амплитудами и фазами могут группироваться в лучи. Пульсируя вдоль В., они периодически отражаются, то отрываются от его стенок. В местах отрыва стенки можно убрать, заменив В. последовательно расставленными отражателями. Такие, а также аналогичные им линзовые системы относят к квазиоптическим В. или к квазиоптич. линиям передачи (см. *Квазиоптика*).

ВОЛНОВОД АКУСТИЧЕСКИЙ — участок среды, ограниченный в одном или двух направлениях стенками или др. средами, в результате чего устраняется или уменьшается расхождение волн в стороны, поэтому распространение звука вдоль участка происходит с ослаблением меньшим, чем в неогранич. однородной среде. Искусств. В. а. — обычно трубы, ограниченные звуконепропускаемыми стенками (напр., органичные трубы, вентиляц. каналы, туннели). Естеств. В. а. — обычно слои среды: напр., для низких частот звука океан представляет собой волновод в виде слоя воды, ограниченного с одной стороны грунтом, а с другой — свободной поверхностью воды. В. а. может быть также образован вертикал. слоистой неоднородностью среды (напр., подводный звуковой канал в океане): волны, пересекающие под малыми углами слой, в к-ром скорость звука имеет миним. значение, заворачивают к нему обратно в результате рефракции в смежных слоях с большей скоростью звука, как бы отражаясь от этих слоёв (см. *Гидроакустика*). В отличие от труб, в к-рых звук распространяется прямолинейно (вдоль оси трубы), звук в слое может также распространяться в виде цилиндрически расходящихся или сходящихся волн.

Единств. вид волн, распространяющихся в В. а. без изменения своей структуры, — *нормальные волны* (моды). В простейшем случае распространения звука в однородной непоглощающей среде, заполняющей слой или трубу прямоугольного сечения, нормальная волна представляет собой гармоническую волну, бегущую (однородная норм. волна) или экспоненциально затухающую (неоднородная норм. волна) вдоль волновода, и синусоидальную стоячую волну в поперечном направлении. При данной частоте нормальные волны образуют бесконечный дискретный набор волн, различающихся фазовой скоростью и числом узловых линий звукового поля в поперечном направлении: каждой нормальной волне приписывают номер, равный числу этих линий. Распространение нормальной волны в В. а. характеризуется дополнит. дисперсией скорости; исключение составляют только нормальные волны нулевого номера: их скорость точно равна скорости звука и дисперсия зависит только от свойств среды, заполняющей В. а. Фазовая скорость нормальных волн ненулевого номера всегда больше, а групповая скорость меньше, чем скорость звука c в неогранич. среде. С увеличением частоты первая убывает, а вторая растёт и обе стремятся асимптотически к c . Для каждой нормальной волны номера i имеется своя частота, наз. критической $\omega_{кр}$, тем большая, чем выше номер волны. Ниже этой частоты данная нормальная волна и все волны высших номеров не распространяются, а представляют собой синфазные колебания с амплитудой, меняющейся вдоль волновода по экспонент. закону. Исключение снова представляет нулевая нормальная волна в В. а. с абсолютно жёсткими или упругими стенками: эта волна может бежать при любой частоте, т. к. её $\omega_{кр}=0$. В В. а. любую свободную гармонич. волну можно представить в виде суперпозиции нормальных волн разных номеров той же

частоты. При заданной частоте распространяется только конечное число нормальных волн низших номеров.

В В. а. со слоисто-неоднородной средой, как в искусственных, так и в естественных, также существуют дискретные наборы нормальных волн с аналогичными свойствами. При слоистой неоднородности среды, заполняющей волновод, стоячая волна в поперечном направлении уже не будет синусоидальной, но нормальные волны по-прежнему можно нумеровать по числу узловых линий в поперечном сечении. Дисперсионные свойства естеств. В. а. обычно существенно отличаются от дисперсионных свойств однородных волноводов.

Твердотельные В. а. обычно ограничены свободными границами (стержни, пластины). Нормальные волны в таких В. а. образованы как сдвиговыми волнами горизонтальной (параллельной границе раздела) поляризации, так и совместно распространяющимися продольными и сдвиговыми волнами вертикал. поляризации, преобразующимися друг в друга при отражениях на границах. Набор таких нормальных волн богаче, чем в жидких В. а. В частности, в них возможны нормальные волны с комплексными волновыми числами. В УЗ-технологии твердотельных В. а. наз. также всякие устройства (стержни, концентраторы) для передачи колеб. энергии на нек-рое расстояние от источника или для введения колеб. энергии в к-л. среду.

Лит.: Бреховских Л. М., Волны в слоистых средах, 2 изд., М., 1973; Ржевкин С. Н., Курс лекций по теории звука, М., 1960, гл. 6; Физическая акустика, под ред. У. Мэсона, пер. с англ., т. 1, ч. А, М., 1966; Исакович М. А., Общая акустика, М., 1973. М. А. Исакович.

ВОЛНОВОД ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ — стержень из диэлектрика или канал внутри диэлектрич. среды, вдоль к-рых могут распространяться направляемые ими эл.-магн. волны. В диапазоне сантиметровых и миллиметровых волн В. д. обычно применяют в качестве коротких трактов, связывающих отд. функциональные элементы установок (напр., для подвода эл.-магн. энергии к излучателям — антеннам). В. д. оптич. диапазона получили назв. *световодов* (см. также *Волоконная оптика*); они, в частности, используются для многоканальной передачи сигналов на большие расстояния. Форма В. д. может быть произвольной, но наиб. часто изготавливают В. д. круглого, эллиптич. и прямоугольного сечений. Мн. В. д., особенно это характерно для применяемых в волоконной оптике световодов, имеют неоднородную по поперечному сечению диэлектрич. проницаемость, как правило, монотонно убывающую от центр. оси к периферии. В. д. встречаются и в природных условиях благодаря возникновению естеств. неоднородного профиля диэлектрич. проницаемости, напр. из-за неоднородности распределения концентрации плазмы в ионосфере, что обеспечивает сверхдальнее распространение радиоволн с малым ослаблением сигнала (см. *Атмосферный волновод*, *Распространение радиоволн*). При облучении нелинейного диэлектрика или плазмы мощными эл.-магн. волнами внутри этих сред могут образовываться самоподдерживающиеся В. д., но они не обладают достаточным запасом устойчивости и их трудно использовать для направленной передачи энергии (см. *Самофокусировка света*).

Механизм канализации эл.-магн. волн в В. д. связан с явлением *полного внутреннего отражения*. Наиболее просто это поясняется на примере слоистых В. д. Рассмотрим плоскопараллельную пластинку толщиной L , диэлектрич. проницаемость ϵ_1 к-рой больше диэлектрич. проницаемости ϵ_0 окружающей её среды (рис., а). Магн. проницаемость обеих сред обычно можно положить равной единице, часто внеш. средой является воздух, для к-рого $\epsilon_0=1$. Пусть на верх. границу пластины ($x=L/2$) падает с внутр. стороны под нек-рым углом β плоская однородная волна. Если β больше угла полного внутр. отражения β^* ($\sin \beta^* = \sqrt{\epsilon_0/\epsilon_1}$), то эта волна полностью отражается и под тем же углом β падает на ниж. границу пластины ($x=-L/2$; рис., б). Каждое такое отражение сопровождается изменением