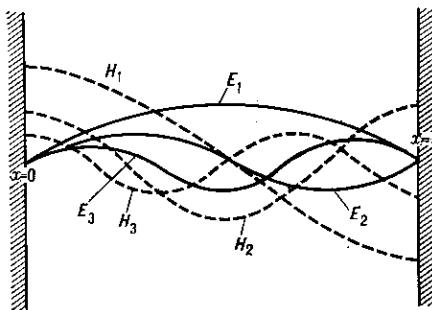


такого резонатора могут существовать стоячие В. с фиксир. значениями волновых числа и частоты: $k_n L = \omega_n L/c = n\pi$, $n=1, 2, \dots$. Только при этих значениях ω_n вдоль системы укладывается целое число полуволп. Следовательно, поле в резонаторе распадается (квантуетя) на синусоидальные поля (собств. моды резонатора) с дискретным спектром частот $\omega_n = n\pi c/L$ (рис. 6).

Аналогичное поведение свойственно акустич. (механич.) резонаторам (напр., система из двух жёстких

Рис. 6. Распределение амплитуд полей E и H для первых трёх мод плоского резонатора с идеально проводящими границами.



пластина в воздухе, труба с закрытыми концами, идеально упругая струна, закреплённая на концах, и др.).

Сложение двух сдвинутых по фазе стоячих В. вида (14) даёт бегущую В. типа (6) или (7):

$$\psi = A \sin \omega t \cos kx + A \cos \omega t \sin kx = A \sin (\omega t - kx). \quad (15)$$

Т. о., формально представления (14) и (15) равноправны. Вот почему нельзя в общем случае ассоциировать В. только с возмущениями, перемещающимися в пространстве — они в такой же мере могут быть и пространственно распределёнными колебаниями. Предпочтение может обуславливаться только физ. обстоятельствами.

Направляемые волны. Если две плоских В. с одинаковыми амплитудами и волновыми числами распространяются под углом друг к другу, то их суперпозиция представляется в виде

$$\psi = A \sin (k_y y) \sin (\omega t - k_x x), \quad (16)$$

где $k^2 = k_x^2 + k_y^2$. Т. о. получается В., стоячая вдоль оси y и бегущая вдоль x . Её наз. плоской неоднородной В. (плоской — поскольку её фазовые фронты суть плоскости $x = \text{const}$; неоднородной — поскольку её амплитуда различна в разных точках фазового фронта). В узлах такой В. ($y = n\pi/k_y$, $n = 1, 2, \dots$) можно поставить идеально отражающие стенки, не возмущающие распределения поля (16). Так получается простейший (двумерный) волновод, направляющий (канализирующий) в направлении x В., поле к-рой как бы «заперто» между двумя плоскостями. Дисперс. ур-ние такой В. имеет вид (10), а фазовая скорость v_ϕ определяется ф-лой (11), где $\kappa = k_y = n\pi/L$, L — расстояние между стенками. Распределение волнового поля в этом волноводе таково, что для каждой моды (каждого значения n) между стенками должно укладываться целое число полуволп: $\lambda_y = 2\pi/k_y$.

Посредством суперпозиции большего числа плоских гармонич. В. можно сформировать поля в трубах (полых волноводах) произвольного конечного поперечного сечения (см. Волновод металлический, Волновод акустический). Т.о., в канализирующих системах может существовать бесконечное число волноводных мод (плоских неоднородных В.), однако в большинстве случаев выбором частоты вводимого в них поля можно сделать режим работы одномодовым. Экраны линии передачи, используемые в электро- и радиотехнике, обычно функционируют именно в таком одномодовом режиме. Особое значение имеют системы, в к-рых первая — самая низкая по частоте главная мода вообще не имеет ограничений по частоте снизу (для неё $\omega_{kp} = 0$) и, следовательно, может распространяться при сколь угодно

низких частотах. Это продольные звуковые В. в трубах с жёсткими стенками (напр., в трубах органа) или эл.-магн. В. в системах с многосвязными границами направляющих проводников (чаще всего — коаксиальные и двухпроводные линии передачи). Для описания таких В. обычно используют телеграфные ур-ния (4), понимая под Φ и Ψ напряжения и токи в линиях.

Главная мода, распространяющаяся со скоростью света (звука) в заполняющей волновод среде, как бы отделяет семейства быстрых ($v_\phi > c$) и медленных ($v_\phi < c$) В. Используя медленные эл.-магн. В., можно создать устройство, формирующее и направляющее их — т. н. замедляющую систему.

Направленные В. могут существовать не только за счёт отражающих границ, но и в безграничной неоднородной среде, способной «заворачивать обратно» В., уходящие из области канализации, напр. акустич. В. в подводном звуковом канале.

Отражение и преломление волн. При падении В. на границу раздела двух сред, на к-рой их параметры (плотности, проницаемости и т. п.) претерпевают разные (скаккообразные) изменения, возникают отражённые и преломлённые В. Первые возвращаются в ту среду, откуда пришла падающая В., вторые проникают в др. среду. Если граница неподвижна, а среды непоглощающие, то суммарная энергия и импульс, переносимые В., сохраняются. Связь волновых полей на границе (условия их согласования по разные стороны от неё) определяется граничными условиями, напр. условиями равенства давления и нормальных составляющих скорости в акустике, тангенц. составляющих векторов электрич. и магн. полей в электродинамике. Простейший случай — падение плоской синусоидальной В. на плоскую границу раздела двух однородных сред. Поскольку волновые поля должны согласованно изменяться по обе стороны границы, вся волновая картина как бы скользит вдоль неё с одной и той же «касан-

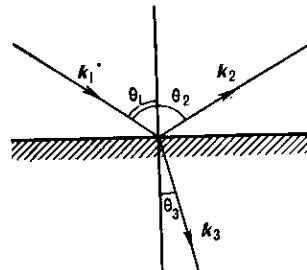


Рис. 7. Отражение и преломление волн на плоской границе раздела двух сред.

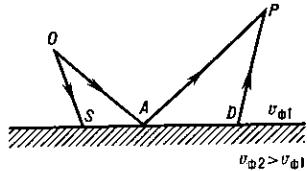


Рис. 7а. Схема возникновения боковой волны.

тельной» фазовой скоростью $v_x = \omega/k_x$ и, значит, проекции всех волновых векторов k на ось x должны быть тоже одинаковы. Для изотропных сред это приводит к равенству углов падения и отражения $\theta_1 = \theta_2$ (рис. 7) и к Снelliю закону преломления (см. также Преломление волн). Для сред, допускающих несколько нормальных В., эти законы видоизменяются: угол отражения, в общем случае, не равен углу падения, а число отражённых и преломлённых В. соответствует числу ветвей дисперс. ур-ния (8) для каждой среды.

Амплитуды и потоки энергии отражённых и преломлённых В. зависят не только от k , но и от волнового сопротивления среды для соответствующих нормальных В.

Два сцен. случая играют важную роль во мн. физ. и техн. задачах. Первый — случай исчезновения отражённой В. (Брюстера закон). Он реализуется, когда поляризация колебаний среды, возбуждённых падающей В., такова, что они не «переизлучают» поля в направлении распространения отражённой В. Второй случай — полного (внутреннего) отражения: при $v_{\phi 1} < v_{\phi 2}$ и таких углах падения, что $k_1 \sin \theta_1 > k_2$, угол преломления θ_3 становится комплексным и преломлённая В. перестаёт распространяться — её поле