

ные условия требуют, чтобы на границе раздела были равны давления в обеих средах и нормальные составляющие скорости частиц среды. В этом случае

$$R_s = \left| \frac{m \cos \theta_n - \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_n}}{m \cos \theta_n + \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta_n}} \right|^2 \quad (1)$$

где  $n = n_2/n_1 = c_1/c_2$  — относительный показатель преломления,  $m = \rho_2/\rho_1$  — отношение плотностей сред.

В спец. случаях возможно безотражат. прохождения волны через границу (*Брюстера закон*). В (1) числитель обращается в нуль при  $\theta_n = \theta_B$ , где  $\text{tg}^2 \theta_B = (n^2 - n_1^2)/(n_1^2 - 1)$ . В оптике явление Брюстера наблюдается для волн, поляризованных в плоскости падения.

При  $n < 1$  и углах падения, больших критического  $\theta^*(\sin \theta^* = n)$ , имеет место полное внутреннее О. в. Числитель и знаменатель в (1) при  $\theta_n > \theta^*$  становятся комплексно сопряжёнными и, следовательно,  $R_s = \Gamma \cdot \Gamma^* \equiv 1$ . Преломлённая волна при полном внутр. О. в. имеет вид поверхностной волны, экспоненциально прижатая к границе.

Идеальные отражающие экраны (зеркала) — предельный случай границы раздела сред, когда  $n \rightarrow \infty$  (абсолютно жёсткие стенки в акустике, идеально проводящие поверхности в электродинамике) или  $n \rightarrow 0$  (абсолютно податливые или идеальные магн. стенки соответственно). И в том и в другом случае  $R \rightarrow 1$ .

Как отражённая, так и преломлённая волны являются, вообще говоря, результатом интерференции волн, переизлучённых в толще обеих сред. Законы зеркального О. в. могут быть обобщены и приближённо сформулированы как локальные для участка границы, если: 1) размеры, радиусы кривизны поверхности и масштабы неоднородностей сред много больше длины волны  $\lambda$  (условия применимости *геометрической оптики*); 2) размеры неровностей границы  $\ll \lambda$ . Если размеры неровностей сравнимы с  $\lambda$ , то возможны два случая: при хаотич. расположении неровностей (шероховатая граница) имеет место стохастич. рассеяние волн (наз. также диффузным О. в.); при периодич. расположении неровностей (отражат. дифракционные решётки) кроме отражённой в зеркальном направлении волны возникает дискретный набор «побочных» волн, направления распространения к-рых зависят от  $\lambda$ , что используется в анализаторах спектра.

О. в. от движущихся объектов происходит со смещением частоты (*Доплера эффект*), угол отражения при этом не равен углу падения (т. н. угловая aberrация). В средах с непрерывно меняющимися свойствами О. в. наблюдается, если характерные масштабы неоднородностей  $L \lesssim \lambda$ . В плавно-неоднородных средах  $L \gg \lambda$  «истинное» О. в. экспоненциально мало, однако рефракция в плавно-неоднородных средах может привести к явлениям, сходным с О. в., напр. зеркальный мираж в пустыне (см. *Рефракция звука, Рефракция света*). В нелинейных средах волны большой интенсивности сами индуцируют неоднородности, при рассеянии на которых (вынужденное рассеяние) может даже возникать, например, специфическое О. в. с *обращением волнового фронта*.

О. в. лежит в основе мн. природных явлений (эхо, миражи, подводные звуковые каналы в океане, радиоканалы в ионосфере), техн. устройств и систем (волноводы, резонаторы, гидролокация, радиолокация). В нек-рых случаях О. в. приводит к вредным последствиям: повышению уровня шумов, гиперреверберации в залах, слепящим бликам, искажению телевизионных изображений. Для борьбы с паразитным О. в. применяются поглощающие покрытия, согласующие элементы («голубая» оптика), плавные в масштабе длины волны переходные слои и др.

В общем случае О. в. не может рассматриваться изолированно от явлений прохождения волн (преломления, просачивания), поглощения, рассеяния, дифракции

волн и трансформации волн (преобразования в волны др. физ. природы или в волны с другой пространственной структурой). Выделение отражённых волн из полного волнового поля в известной мере условно и традиционно связано с лучевой трактовкой процесса распространения и теорией переноса изображений; к О. в., как правило, относят только тот класс явлений, в к-рых восстанавливается изображение источника (правильное или искажённое).

Лит.: Горелик Г. С., Колебания и волны, 2 изд., М., 1959; Крауфорд Ф., Волны, пер. с англ., 3 изд., М., 1984; Пирс Дж., Почти все о волнах, пер. с англ., М., 1976. М. А. Миллер, Г. В. Пермитин.

**ОТРАЖЕНИЕ ЗВУКА** — явление, возникающее при падении звуковой волны на границу раздела двух упругих сред и состоящее в образовании волн, распространяющихся от границы раздела в ту же среду, из к-рой пришла падающая волна. Как правило, О. з. сопровождается образованием преломлённых волн во второй среде. Частный случай О. з. — отражение от свободной поверхности. Обычно рассматривается отражение на плоских границах раздела, однако можно говорить об О. з. от препятствий произвольной формы, если размеры препятствия значительно больше длины звуковой волны. В противном случае имеет место *рассеяние звука* или *дифракция звука*.

Падающая волна вызывает движение границы раздела сред, в результате к-рого и возникают отражённые и преломлённые волны. Их структура и интенсивность должны быть таковы, чтобы по обе стороны от границы раздела скорости частиц и упругие напряжения, действующие на границу раздела, были равны. Граничные условия на свободной поверхности состоят в равенстве нулю упругих напряжений, действующих на эту поверхность.

Отражённые волны могут совпадать по типу поляризации с падающей волной, а могут иметь и др. поляризацию. В последнем случае говорят о преобразовании, или конверсии, мод при отражении или преломлении. Конверсия отсутствует только при отражении звуковой волны, распространяющейся в жидкости, поскольку в жидкой среде существуют лишь продольные волны. При прохождении звуковой волной границы раздела твёрдых тел образуются, как правило, и продольные и поперечные отражённые и преломлённые волны. Сложный характер О. з. имеет место на границе кристаллич. сред, где в общем случае возникает отражённые и преломлённые волны трёх разл. поляризаций.

Отражение плоских волн [1—6]. Особую роль играет отражение плоских волн, поскольку плоские волны, отражаясь и преломляясь, остаются плоскими, а отражение волн произвольной формы можно рассматривать как отражение совокупности плоских волн. Кол-во возникающих отражённых и преломлённых волн определяется характером упругих свойств сред и числом акустич. ветвей, существующих в них. В силу граничных условий проекция на плоскость раздела волновых векторов падающей, отражённых и преломлённых волн равны между собой (рис. 1).

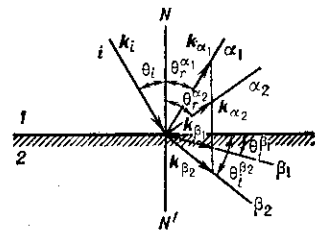


Рис. 1. Схема отражения и преломления плоской звуковой волны на плоской границе раздела.

$NN'$  к границе раздела лежат в одной плоскости (плоскости падения); 2) отношения синусов углов падения  $\theta_i$ , отражения  $\theta_r$  и преломления  $\theta_t$  к фазовым