

наплях дождя в воздухе, точечных дефектах в кристаллах и др.). Поскольку при Р. з. часть акустич. энергии уходит по направлениям, отличным от направления распространения звука, интенсивность первичной волны уменьшается. Если при распространении в данном направлении звук рассеивается многократно, то наблюдается экспоненц. ослабление его интенсивности с расстоянием.

Рассеивающую способность неоднородностей характеризуют поперечным сечением рассеяния  $\sigma_s$ , равным отношению акустич. мощности  $W_s$  рассеянной в единицу телесного угла, к интенсивности падающей волны  $I_i$ :  $\sigma_s = W_s/I_i$ . Значение  $\sigma_s$  существенно зависит от частоты и угла падения звуковой волны, размеров неоднородностей и их акустич. характеристик. Если длина волны звука мала по сравнению с линейным размером рассеивающего тела, то сечение рассеяния  $\sigma_s$  по порядку величины равно площади поперечного сечения тела, перпендикулярного направлению падения первичной волны. Для малых препятствий  $\sigma_s \sim (ka)^4$  (закон Рэлея), где  $k$  — волновое число звука,  $a$  — линейный размер тела. Весьма эфф. рассеивателями являются «резонансные» пузырьки газа в жидкости, частота собственных радиальных колебаний которых совпадает с частотой звуковой волны. При этом  $\sigma_s$  во много раз превышает геом. сечение пузырьков. Так, напр., полное значение  $\sigma_s$  (соответствующее рассеянию в телесный угол  $4\pi$ ) для воздушного пузырька в воде при атм. давлении на резонансе, т. е. при  $ka = 0,014$ , равно  $4\pi/k^2$  и, следовательно, превышает геом. сечение пузырьков  $\pi a^2$  в  $4/(ka)^2 \approx 20000$  раз. Из-за вязкости и теплопроводности реальное значение  $\sigma_s$  может существенно уменьшаться. Однако даже в случае относительно больших различий в размерах пузырьков резонансное рассеяние играет доминирующую роль (как, напр., при Р. з. в приповерхностном пузырьковом слое в океане). Аналогично Р. з. глубоководными океанич. звуко-рассеивающими слоями обусловлено в осн. резонансными колебаниями плавательных пузырей некоторых рыб.

Р. з. в кристаллах происходит на примесях, точечных дефектах, дислокациях, плоскостях двойникования и т. п. Если на длине звуковой волны имеется большое число точечных дефектов и примесей, то осн. роль начинает играть рассеяние на флуктуациях их числа. В поликристаллах большой вклад в Р. з. дают границы зёрен.

Наиб. значение в гидроакустике имеет Р. з. на поверхности океана, на объёмных неоднородностях водной толщи, на неровностях донного рельефа и неоднородностях подводного грунта. В результате Р. з. возникает поверхностная, объёмная и донная реверберация, к-рая является одной из осн. помех при работе разл. гидроакустич. приборов и устройств. Характер Р. з. на случайных неровных поверхностях, таких, как поверхность океана, зависит от величины параметра Рэлея  $P = 2kh\cos\theta_0$ , где  $h$  — среднеквадратичное значение высоты неровностей,  $\theta_0$  — угол падения первичной волны. При  $P \ll 1$  Р. з. является резонансным или избирательным — значение  $\sigma_s$  определяется всего лишь одной гармоникой из сплошного пространственного спектра неровностей, волновой вектор к-рой  $q$  удовлетворяет условию Брэгга:  $q = \kappa - \kappa_s$ , где  $\kappa$ ,  $\kappa_s$  — горизонтальные компоненты волновых векторов падающей и рассеянной волн соответственно. Если, кроме того, горизонтальный масштаб (радиус корреляции) неровностей  $\rho_0$  мал по сравнению с длиной волны звука ( $k\rho_0 \ll 1$ ), то частотная зависимость  $\sigma_s$  следует закону Рэлея, а зависимость  $\sigma_s$  от угла рассеяния  $\theta$  (индикатриса рассеяния) — закону  $\sigma_s \sim \cos^2\theta$ . При крупномасштабных неровностях ( $k\rho_0 \gg 1$ ) частотные и угл. характеристики  $\sigma_s$  существенно зависят от вида пространственного спектра неровностей. Так, при гауссовом спектре индикатриса рассеяния имеет резкий максимум в направлении зер-

кального отражения с угл. шириной  $\Delta\theta \sim 1/k\rho_0$ . В случае спектра, характерного для развитого ветрового волнения, индикатриса рассеяния имеет два максимума разл. величины, смещённых в разные стороны относительно зеркального направления, а в направлении зеркального отражения у неё наблюдается глубокий провал.

При Р. з. на крупных плавных неровностях ( $P \gg 1$ ) поперечное сечение рассеяния  $\sigma_s$  пропорц. плотности вероятности наклонов неровностей и не зависит от частоты звука; индикатриса рассеяния при этом имеет максимум в зеркальном направлении с угл. шириной, пропорциональной среднеквадратичному значению наклонов неровностей. При Р. з. на неровных поверхностях со сложным спектром неоднородностей рассеянное поле в направлениях, близких к направлению зеркального отражения, определяется в основном крупномасштабными компонентами неровностей, а поле в обратном (локационном) направлении обусловлено гл. обр. мелкомасштабными неровностями.

Р. з. на слабых флуктуациях показателя преломления в атмосфере или океане во многом аналогично Р. з. на малых случайных неровностях. Оно также имеет резонансный характер; длина волны «резонансной» гармоника  $\Lambda = \lambda/\sin(\theta/2)$ , где  $\lambda$  — длина волны звука,  $\theta$  — угол между волновыми векторами падающей и рассеянной волн. По мере уменьшения  $\theta$  рассеяние определяется неоднородностями всё больших масштабов. При рассеянии в обратном направлении  $\Lambda = \lambda/2$ .

Временная изменчивость рассеивателей приводит к расширению частотного спектра рассеянного поля. Типичным примером может служить Р. з. на взволнованной морской поверхности и внутр. волнах в атмосфере и океане. Ряд особенностей имеет Р. з. на дне океана. В мелководных районах Р. з. обусловлено гл. обр. флуктуациями показателя преломления и плотности в толще подводных осадков. В широком диапазоне частот (1—100 кГц)  $\sigma_s$  для рассеяния в обратном направлении не зависит от частоты звука, его угл. зависимость близка к закону Ломмеля — Зеллигера  $\sigma_s \sim \cos\theta$ . В глубоком океане осн. вклад в Р. з. дают неровности донного рельефа.

Анализ разл. характеристик рассеянного звукового поля позволяет определять разл. характеристики самих рассеивателей. Так, напр., по обратному рассеянию звука на турбулентных неоднородностях в атмосфере находят пространственный спектр пульсаций показателя преломления. Наличие Р. з. на неоднородностях и дефектах в твёрдых телах лежит в основе ультразвуковой дефектоскопии.

При Р. з. на случайных поверхностных или объёмных неоднородностях образуется т. н. пятнистая интерференц. структура (спекл-структура; см. *Спекл-интерферометрия*). На основе её анализа разработаны эфф. дистанц. методы определения разл. параметров природных неровностей и неоднородностей, развиты акустич. методы разведки полезных ископаемых, в частности железомарганцевых конкреций на дне океана, созданы навигационные приборы — корреляц. лаги для измерения абс. скорости движения судна относительно дна океана, а также устройства для определения с высокой точностью смещения судна относительно фиксир. точки.

При Р. з. на периодически неровных или периодически неоднородных поверхностях рассеянное поле состоит из суперпозиции плоских волн (дифракц. спектров разл. порядка), распространяющихся в дискретных направлениях, определяемых условием Брэгга. Если период неровностей (неоднородностей) меньше половины длины звуковой волны, то амплитуды всех рассеянных волн (помимо зеркально отражённой волны) экспоненциально убывают при удалении от поверхности и рассеянное поле сосредоточено вблизи поверхности (ближнее поле).

Лит.: Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Гидродинамика, 4 изд., М., 1988; Исакович М. А., Общая акустика, М., 1973; Чернов Л. А., Волны в случайной-неоднородных средах, М., 1975; Киттель Ч., Введение в физику твердого