

ных и неоднородных границах среды приводит к уменьшению интенсивности при отражении звука и прохождении его через границу, т. е. к изменению коэф. отражения и прохождения волны, определяемого согласно законам *геометрической акустики*. Подробнее см. в ст. *Рассеяние звука*.

Поглощение звука — необратимый переход звуковой энергии в другие виды энергии (преим. в теплоту) — может быть обусловлено разл. механизмами. Большую роль играют вязкость и теплопроводность среды, а на высоких частотах и при низких темп-рах — разл. процессы взаимодействия звуковых волн с внутр. возбуждениями в твёрдом теле (фононами, электронами проводимости, спиновыми волнами и др.). Подробнее см. в ст. *Поглощение звука*.

При З. з., обусловленном рассеянием и поглощением, интенсивность звука убывает с расстоянием по экспоненциальному закону  $e^{-2\delta r}$ , где  $\delta$  — коэф. затухания (амплитуда гармонич. волны — по закону  $e^{-\delta r}$ ), в отличие от степенного закона убывания интенсивности при рассеянии волн. Коэф. З. з.  $\delta$  выражается в единицах  $m^{-1}$  ( $cm^{-1}$ ) или в логарифмич. единицах Нп/м, дБ/м.

И. П. Голямина.

**ЗАТУХАНИЕ КОЛЕБАНИЙ** — уменьшение амплитуды колебаний с течением времени, обусловленное потерей энергии колебат. системой. Потери энергии колебаний вызываются в механ. системах превращением её в теплоту вследствие трения и излучением упругих волн в окружающую среду, в электрических системах — омич. потерями в них и излучением эл.-магн. волн в окружающее пространство.

Закон З. к. определяется свойствами системы. В линейных системах З. к. происходит по экспоненте:

$$X_k = X_0 \exp(-\alpha t)$$

(рис.), где  $t$  — время,  $\alpha$  — показатель затухания системы. Для простейшей механ. системы — тела массы  $m$ , удерживаемого в положении равновесия упругой силой и испытывающего трение, пропорциональное скорости (с коэф. пропорциональности  $b$ ),  $\alpha = b/2m$ ; для простейшей электрич. системы — *колебательного контура* с индуктивностью  $L$  и сопротивлением  $R$   $\alpha = R/2L$ . З. к. практически можно считать закончившимся, если амплитуда колебаний уменьшилась до  $\sim 1\%$  нач. величины. Время  $\tau$ , в течение к-рого это произойдёт, определяется из условия  $e^{-\alpha\tau} = 0,01$  или  $\alpha\tau = 4,6$ , то есть  $\tau = 4,6/\alpha$ .

К затухающим колебаниям, строго говоря, неприменимо понятие периода или частоты. Однако если затухание мало, то можно условно пользоваться понятием периода  $T_1$  как промежутка времени между двумя последующими максимумами колеблющейся величины (тока, напряжения, размаха колебаний маятника и т. д.). «Период»  $T_1$  увеличивается по мере увеличения потерь энергии в системе. Для приведённых выше простейших случаев соответствующая этому условному «периоду» частота затухающих колебаний

$\omega_1 = 2\pi/T_1 = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}$ , где  $\omega_0$  — угловая частота собств. колебаний в отсутствии потерь энергии в системе. Скорость З. к. часто характеризуют декрементом затухания  $\delta = \alpha T_1$ , определяющим уменьшение амплитуды за один «период» колебаний, или величиной  $d = \delta/\pi$ , наз. просто затуханием. Скорость З. к. связана с *добротностью* колебат. системы  $Q$ ; в рассмотренных простейших случаях  $d = 1/Q$ .

В нелинейных системах отношение потерь энергии за период к полной энергии колебаний не остаётся постоянным, а изменяется с изменением амплитуды

колебаний. Поэтому закон З. к. оказывается не экспоненциальным. Простейший с точки зрения закона З. к. случай — это нелинейная механ. система, в к-рой величина силы трения постоянна (не зависит от величины скорости), а направление силы трения противоположно скорости (т. н. сухое трение). Такая сила трения возникает в системах, движение к-рых связано со скольжением, напр. при колебаниях крутильного маятника с осью, установленной в подшипниках скольжения. В этом случае амплитуды колебаний убывают по закону арифметич. прогрессии.

Лит.: Андронов А. А., Витт А. А., Хайкин С. Э., Теория колебаний, 3 изд., М., 1981; Горелик Г. С., Колебания и волны, 2 изд., М., 1959; Бишоп Р., Колебания, пер. с англ., 3 изд., М., 1986.

**ЗАТУХАНИЕ КОНТУРА** — величина, определяющая скорость убывания амплитуд собств. колебаний в электрич. контуре и вместе с тем характеризующая его резонансные свойства при вынужденных колебаниях. Амплитуда собств. колебаний в контуре убывает вследствие рассеяния энергии. Если обозначить  $W_k$  всю энергию колебаний в контуре, а  $W_p$  — часть её, составляющую потери за один период колебаний, то при  $W_k \gg W_p$  З. к. равно  $d = W_p/2\pi W_k$ . В электрич. контуре, состоящем из сосредоточенной индуктивности  $L$ , ёмкости  $C$  и сопротивления  $R$ , З. к. (при том же ограничении) равно:  $d = R\sqrt{C/L}$ . З. к. является величиной, обратной *добротности*, и определяет ширину резонансной кривой; в случае вынужденных колебаний З. к. пропорционально *декременту затухания*  $\delta$ :  $d = \delta/\pi$ .

**ЗАТУХАНИЕ СВОБОДНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ** — обусловленное релаксационными процессами уменьшение амплитуды поляризации среды после прекращения действия возбуждающего импульса резонансного эл.-магн. излучения. Падающий на среду импульс когерентного эл.-магн. излучения с частотой  $\omega$ , резонансной разрывному переходу между квантовыми состояниями  $|a\rangle$  и  $|b\rangle$  (соответствующими уровням энергии  $a$  и  $b$  отдельных квантовых систем, т. е. атомов, молекул, примесных центров и т. д.), создаёт когерентную суперпозицию этих состояний, индуцируя тем самым элементарные диполи, колеблющиеся с частотой возбуждающего поля и связанные между собой по фазе. В результате возникает волна поляризации вещества, имеющая частоту  $\omega$  и волновой вектор  $k$ , равный волновому вектору падающего импульса. По окончании импульса, т. е. когда среда свободна от воздействия поля, резонансная поляризация ещё сохраняется, однако её амплитуда со временем уменьшается (затухает), а эл.-магн. волна, создаваемая колеблющимися с затухающей амплитудой диполями, регистрируется как сигнал З. с. п. [1—3]. Аналогом З. с. п. в *ядерном магнитном резонансе* является эффект затухания свободной индукции.

Имеются две качественно различные причины, вызывающие З. с. п. Первая из них — это процессы необратимой релаксации, к-рые приводят к распаду состояний  $|a\rangle$  и  $|b\rangle$  (спонтанное испускание, неупругие столкновения и т. д.) или к сбою их фаз (упругие столкновения). Эти процессы характеризуются временем поперечной релаксации  $T_2$  и обуславливают т. н. однородное уширение спектральных линий (см. *Ширина спектральной линии*).

Вторая причина — различие собственных частот  $\omega_{ba}$ , обусловленное либо эффектом Доплера при тепловом движении атомов и молекул в газе, либо смещением квантовых уровней в неоднородном внутрикристаллич. или внеш. поле (неоднородное уширение линии перехода). Поскольку в свободном состоянии диполи колеблются с собств. частотами  $\omega_{ba}$ , то возникает их расфазировка, приводящая к дополнит. затуханию поляризации.

Если возбуждающий импульс имеет прямоугольную форму (рис. 1) и длительность  $\tau \ll T_2, T_2^*$  ( $T_2^* =$