

Кристаллоакустика) и обуславливает его акустич. активность — способность поворачивать плоскость поляризации волны (аналогично *оптической активности*). При более низких частотах этот эффект становится пренебрежимо мал.

Д. з. удалось рассчитать лишь для сравнительно небольшого числа релаксац. процессов, перечисленных ниже. Релаксация кнезеровского типа, обусловленная наличием в однородной среде дополнит. термодинамич. переменной  $\xi$ , релаксирующей по закону  $\dot{\xi} = -(\xi - \xi_0)/\tau$ , где  $\xi_0$  — равновесное значение  $\xi$ , приводит (при малом  $\Delta$ ) к след. зависимости  $c$  от  $\omega$ :

$$c = c_0 \left( 1 + \frac{c_\infty^2 - c_0^2}{2c_0^2} \cdot \frac{\omega^2 \tau^2}{1 + \omega^2 \tau^2} \right)$$

К релаксации кнезеровского типа относятся: процесс перераспределения энергии между поступат. и внутр. степенями свободы молекул в газе; двусторонняя хим. реакция, идущая между компонентами смеси (газовой или жидкой); диссоциация солей в растворах; процесс перераспределения электронов, вызванный искажением *ферми-поверхности* звуковой волной в металлах; аналогичный процесс, вызванный искажением зон и изменением ширины запрещённой зоны в полупроводниках и т. д. С квантовой точки зрения, к кнезеровской релаксации приводит происходящее под влиянием звука изменение населённости энергетич. уровней в любых присутствующих в среде двухуровневых (многоуровневых) подсистемах.

Резонансная релаксация, наблюдаемая в области частот, близких к собств. частоте  $\omega_0$  имеющихся в среде резонаторов той или иной природы, приводит к зависимости  $c$  от  $\omega$  в виде

$$c = c_0 \left[ 1 - A \frac{\left( 1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2} \right) \frac{\omega^2}{\omega_0^2}}{\left( 1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2} \right)^2 + d^2 \frac{\omega^4}{\omega_0^4}} \right] \quad (1)$$

где  $\omega_0$  — резонансная частота,  $c_0$  — скорость звука при  $\omega/\omega_0 \rightarrow 0$ ,  $d$  — удвоенный коэф. затухания колебаний резонатора,  $A = (c_{\max} - c_{\min})d/\omega_0 c_0$ ,  $c_{\max}$  и  $c_{\min}$  — макс. и мин. значения скорости. При квантовом подходе обычно считают, что резонансная релаксация имеет место в средах, включающих двухуровневые ( $\mathcal{E}''$ ,  $\mathcal{E}'$ ) подсистемы любой природы, на частотах, близких к  $(\mathcal{E}'' - \mathcal{E}')/\hbar$ . Резонансная релаксация наблюдается как в однородных, так и в микрогетерогенных средах. Она определяет Д. з., напр., в стёклах при низких темп-рах, в системе обладающих спином связанных частиц, помещённых в магн. поле, и в др. однородных средах. В микрогетерогенных средах резонансная Д. з. наблюдается при включениях в виде резонаторов. Вода, содержащая пузырьки газа, — важный для гидроакустики пример такой среды. Скорость звука в жидкости с газовыми пузырьками определяется выражением (1) с  $A = \Phi \beta_2 / 2\beta_1$  и  $\omega_0 = \sqrt{3/V a^2 \rho_1 \beta_2}$ , где  $a$  — радиус пузырька,  $\rho_1$  — плотность жидкости,  $\beta_1$  и  $\beta_2$  — сжимаемости жидкости и газа,  $\Phi$  — относительный объём, занятый пузырьками, к-рый считается достаточно малым. Др. примером микрогетерогенной среды с включениями в виде резонаторов является кристалл, содержащий петли *дислокаций*, когда последние можно описать моделью струны, закреплённой на концах (т. н. Франка — Рида источники).

Релаксация, связанная с флуктуациями разл. термодинамич. величин, приводит к Д. з., особенно существенной вблизи критич. точек и *фазовых переходов* 2-го рода, где велики флуктуации параметра порядка, соответствующего данному фазовому переходу. Амплитуда этих флуктуаций, время их рассасывания и радиус корреляции меняются под влиянием изменения давления и темп-ры в звуковой волне, причём новое распределение флуктуаций запаздывает по отношению к измене-

нию давления, что и приводит к Д. з. и избыточному поглощению. Выражения для Д. з. зависят от того, каким ур-нием описывается процесс рассасывания флуктуаций. Д. з. в этом случае сильно зависит от близости к темп-ре перехода.

Характерный для микрогетерогенных сред релаксац. процесс, состоящий в выравнивании значений нек-рой дополнит. термодинамич. переменной  $\xi$  (принимающей разл. значения в среде и включениях при изменении давлений в звуковой волне) путём диффузии (теплопроводности) через границы включений, приводит к след. зависимости  $c$  от  $\omega$ :

$$c = c_\infty / \text{Re} \left\{ \left[ 1 + i \frac{c_\infty^2 - c_0^2}{c_0^2} F(\omega, \tau) \right]^{1/2} \right\}, \quad (2)$$

где

$$F(\omega, \tau) = \frac{3}{2} \frac{1}{\omega \tau} \frac{[1 + (1-i) \sqrt{\omega \tau}] \{ (1-i) \sqrt{\omega \tau} + \text{th} [(1-i) \sqrt{\omega \tau}] \}}{(1-i) \sqrt{\omega \tau} \{ 1 + \text{th} [(1-i) \sqrt{\omega \tau}] \}}$$

$i$  — мнимая единица,  $\tau = a^2/2D$ ,  $a$  — радиус включений (сферических),  $D$  — коэфф. диффузии (температуропроводности). Выражение (2) определяет: Д. з. в эмульсиях, обусловленную выравниванием разности темп-р между их компонентами; аналогичную Д. з. в поликристаллах; Д. з. в сильновязких жидкостях. Последнюю можно представить как двухфазную среду, состоящую из неупорядоченной жидкости и помещённых в неё упорядоченных областей, степень порядка в к-рых характеризуется величиной  $\xi$ , имеющей смысл концентрации дырок Френкеля (аналог вакансий в кристаллах). При изменении давления меняется равновесное значение  $\xi$  в упорядоченных областях, что и приводит к диффузии дырок через их границы. Запаздывание этого процесса относительно изменения фазы звуковой волны и приводит к Д. з. Подобным выражением описывается Д. з. во взвесах, связанная с отставанием тяжёлых частиц от жидкости при движении последней в звуковой волне; возбуждаемые при этом частицами вязкие волны постепенно передают им импульс от жидкости; запаздывание этого процесса обмена импульсом и приводит к указанной Д. з.

В узком смысле Д. з. иногда наз. дисперсионный скачок скорости звука  $\Delta = (c_\infty - c_0)/c_0$ , где  $c_\infty$  и  $c_0$  — значения скорости звука при  $\omega \tau \rightarrow \infty$  и  $\omega \tau \rightarrow 0$ . Величина  $\Delta$  для разл. релаксац. процессов приведена в табл.

Дисперсионные скачки скорости для некоторых веществ

Вещество	Темп-ра, °C	$\Delta$ , %
Газы:		
CO <sub>2</sub> . . . . .	23	4
CS <sub>2</sub> . . . . .	300	7
Маловязкие жидкости:		
Бензол . . . . .	20	10
Сероуглерод . . . . .	20	9
Четырёххлористый углерод . . . . .	20	12
Анилин . . . . .	22	9
Нитробензол . . . . .	20	6
Сильновязкие жидкости:		
Глицерин . . . . .	-14	59
Бутидиол 1,3 . . . . .	-32, 2	37
Триэтилен . . . . .	-40	51
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	494	~200
Электролиты (водные растворы с концентрацией 0,2 моль/л):		
CoSO <sub>4</sub> . . . . .	24, 8	0,22 *
ZnSO <sub>4</sub> . . . . .	20	0,26 *
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> . . . . .	25	0,82 *

\* Значения соответствуют сумме дисперсионных скачков для релаксац. процессов с частотами выше 1 МГц.

Д. з., обусловленная волноводным характером распространения, имеет место при распространении звука в стержнях, пластинах, волноводах и т. д. Так, при распространении звука в волноводе с абсолютно жёсткими