

где ρ — плотность среды, $\omega = 2\pi f$ — круговая частота звуковой волны, η и ζ — коэф. сдвиговой и объёмной вязкости, κ — коэф. теплопроводности, c_p и c_v — теплоёмкости среды при пост. давлении и объёме соответственно. В области низких частот, где ни один коэф. η , ζ и κ не зависит от частоты, для характеристики П. з. часто пользуются величиной α/f^2 , к-рая в этом случае также не зависит от частоты и является параметром, характеризующим свойства среды. Значение α/f^2 , как правило, в жидкостях меньше, чем в газах, а в твёрдых телах меньше, чем в жидкостях. Выражение (1) для α применимо только для звуковых волн малой амплитуды. П. з., обусловленное сдвиговой вязкостью и теплопроводностью, наз. классическим и характеризуется коэф. $\alpha_{кл}$.

Часть коэф. П. з., к-рая пропорц. объёмной вязкости, связана с релаксац. процессами (см. *Релаксация акустическая*). На высоких частотах коэф. объёмной вязкости начинает зависеть от частоты, вследствие чего α имеет частотную зависимость, отличающуюся от ω^2 . Коэф. П. з., связанный с релаксацией, имеет вид

$$\alpha_p = \frac{c_\infty^2 - c_0^2}{2c_0^3} \cdot \frac{\omega^2 \tau}{1 + \omega^2 \tau^2} \quad (2)$$

где τ — время релаксации, c_0 — скорость распространения звука при малых частотах ($\omega\tau \ll 1$), c_∞ — скорость звука при высоких частотах ($\omega\tau \gg 1$). Полный коэф. поглощения

$$\alpha = \alpha_{кл} + \alpha_p$$

На низких частотах, т. е. при $\omega\tau \ll 1$, коэф. П. з. описывается ϕ -лой (1), где $\zeta = \rho\tau(c_\infty^2 - c_0^2)$. Величина $\alpha_p \lambda$ при $\omega\tau \ll 1$ растёт с увеличением частоты, а на частоте релаксации $\omega_p = 1/\tau$ имеет максимум (рис. 1).

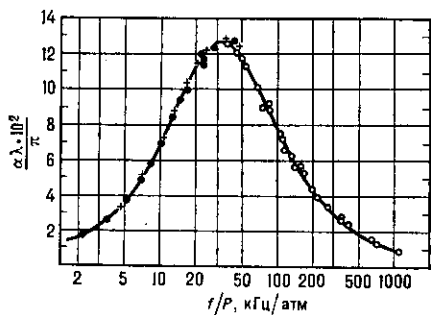


Рис. 1. Зависимость величины $\alpha \lambda$ от f/p для CO_2 при температуре 21°C.

Величина α/f^2 , постоянная при $\omega\tau \ll 1$, в области частот, близких к ω_p , уменьшается с ростом частоты, а при $\omega\tau \gg 1$ стремится к нулю, причём α_p стремится к пост. величине $(c_\infty^2 - c_0^2)/2\tau c_0^3$. Релаксац. поглощение всегда сопровождается *дисперсией звука*.

Релаксация связана с разл. внутримолекулярными и межмолекулярными процессами, происходящими в среде под действием УЗ, поэтому анализ частотных и температурных зависимостей коэф. П. з. позволяет судить об этих процессах. Частота релаксации ω_p для разных веществ может лежать как в ультразвуковой, так и в гиперзвуковой области; величина её зависит от темп-ры, давления, примесей др. веществ и от др. факторов. Исследованию поглощения и скорости звука в зависимости от частоты, темп-ры, давления, концентрации примесей и др. физ. величин занимается *молекулярная акустика*.

П. з. в газе. Теплопроводность и сдвиговая вязкость в газах дают вклад в П. з. одного порядка величины. Вклад объёмной вязкости и релаксац. процессов значителен для многоатомных газов, тогда как в одноатомных газах релаксац. процессы отсутствуют и $\alpha = \alpha_{кл}$. Данные о П. з. в нек-рых газах в УЗ-диапазоне частот приведены в табл. 1.

Т а б л. 1.—Поглощение ультразвука в газах

Газ	Частота f , кГц	Давление p , атм.	$\alpha/f^2 \cdot 10^{11}$, $\text{м}^{-1}\text{с}^2$	
			эксперимент	теория (классическая)
Воздух	132—400	1,0	2,94—3,99	1,24
	1160	1,0	1,67	
Углекислый газ	304,4	0,98	27,1	1,30
Водород	598,4	1,0	3,58	0,17
Оксид азота	598,9	0,95	1,83	1,56
Кислород	598,9	0,99	1,68	1,49
Аргон	4250	1,0	1,9	1,9
Азот	598,9	0,97	1,35	1,3

Из табл. видно, что в ряде случаев измеренные значения П. з. заметно превышают $\alpha_{кл}$. Это указывает на существенный вклад релаксац. процессов. П. з. в CO_2 довольно велико (рис. 1), напр., на частоте 50 кГц при комнатной темп-ре и нормальном давлении величина $\alpha \approx 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}$, т. е. волна затухает в e раз на расстоянии 5 см.

В газах произведение П. з. на длину волны ($\alpha\lambda$) при заданной темп-ре зависит не только от частоты, но и от давления в газе p , т. е. от отношения f/p , поскольку время релаксации в газах обратно пропорц. числу соударений молекул, а следовательно, давлению газа p .

В таких газах, как CO_2 , CS_2 , CO и др., осн. вклад в П. з. даёт релаксац. процесс возбуждения колебат. степеней свободы. В более сложных системах может иметь место как колебательная, так и вращат. релаксация, причём обычно частоты релаксации этих процессов различаются на неск. порядков.

Примеси посторонних газов заметно влияют как на величину α_p , так и на ω_p . П. з. в воздухе зависит от его влажности (рис. 2). В воздухе на частотах ниже 1 МГц

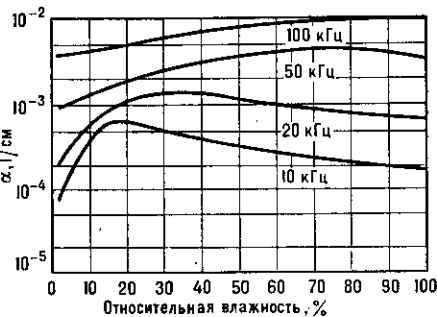


Рис. 2. Зависимость α в воздухе от относительной влажности при разных частотах.

осн. вклад в П. з. даёт колебат. релаксация молекул O_2 и H_2 . В сильно разреженных газах, т. е. при больших значениях отношений f/p , когда длина волны звука становится сравнимой с длиной свободного пробега молекул, для описания П. з. нужно пользоваться кинетич. теорией газов.

При распространении звука в помещениях, сосудах и трубах на П. з. в среде накладывается поглощение в пограничном слое, к-рое пропорц. величине $1/\delta^2$, где $\delta = \sqrt{2\eta/\rho\omega}$ — глубина проникновения вязкой волны. В малых объёмах поглощение в пограничном слое может оказаться преобладающим.

П. з. в жидкостях. П. з. в обычных жидкостях в основном определяется вязкостью (как сдвиговой, так и объёмной). В большинстве жидкостей эксперим. значения коэф. П. з. существенно превышают значения, даваемые классич. теорией, что свидетельствует о большом вкладе релаксац. процессов. Релаксац. поглощение в жидкостях может быть обусловлено колебат. релаксацией, структурной релаксацией (ассоцииров. жидкости, поведение к-рых похоже на поведение воды), поворотной-изомерной релаксацией, диссоциацией растворённых веществ в растворах электролитов и пр.