

Дисперсия звука



Значение слова "Дисперсия звука" в Большой Советской Энциклопедии

Дисперсия звука, зависимость фазовой скорости монохроматических звуковых волн от частоты. **Дисперсия звука** является причиной изменения формы звуковой волны (звукового импульса)

при распространении его в среде. Различают **Дисперсия звука**, обусловленную физическими свойствами среды, и **Дисперсия звука**, обусловленную наличием границ тела, в котором звуковая волна распространяется, и от свойств тела не зависящую.

Дисперсия звука первого типа может вызываться различными причинами. Наиболее важны случаи **Дисперсия звука**, связанной с релаксационными процессами (см. ниже), происходящими в среде при прохождении звуковой волны. Механизм возникновения релаксационной **Дисперсия звука** можно выяснить на примере многоатомного газа. При распространении звука в газе молекулы газа совершают поступательное движение. Если газ одноатомный, то никаких других движений, кроме поступательных, **атомы** газа совершать не могут. Если же газ многоатомный, то при столкновениях молекул между собой могут возникать вращательные движения молекул, а также колебательные движения атомов, составляющих молекулу. При этом часть энергии звуковой волны тратится на возбуждение этих колебательных и вращательных движений (т. е. от поступательного движения) к внутренним степеням свободы (т. е. к колебательным и вращательным движениям) происходит не мгновенно, а за некоторое время, которое называется временем релаксации t . Это время определяется числом соударений, которое должно произойти между молекулами для перераспределения энергии между всеми степенями свободы. Если период звуковой волны мал по сравнению с t (высокие частоты), то за период волны внутренние степени свободы не успеют возбудиться и перераспределение энергии не успеет произойти. В этом случае газ будет вести себя так, как будто никаких внутренних степеней свободы вовсе нет. Если же период звуковой волны много больше, чем t (низкие частоты), то за период волны энергия поступательного движения успеет перераспределиться на внутренние степени свободы. При этом энергия поступательного движения будет меньше, чем в случае, когда внутренних степеней свободы не было бы. Поскольку упругость газа определяется энергией, приходящейся на поступательные движения молекул, то, следовательно, упругость газа, а значит и скорость звука, также будет меньше, чем в случае высоких частот. Иными словами, в некоторой области частот, близких к частоте релаксации, равной $\omega_p = 1/t$, скорость звука увеличивается с ростом частоты, т. е. имеет место так называемая положительная дисперсия. Если c_0 - скорость звука при малых частотах ($\omega t \ll 1$), а c_∞ - при очень больших частотах ($\omega t \gg 1$), то скорость звука для произвольной частоты описывается формулой

$$c^2 = c_0^2 + (c_\infty^2 - c_0^2) \frac{\omega^2 t^2}{1 + \omega^2 t^2}.$$

Вследствие необратимости процессов перераспределения энергии в той области частот, где имеет место **Дисперсия звука**, наблюдается повышенное поглощение звука.

Релаксационная **Дисперсия звука** может быть не только в газах, но и в жидкостях, где она связана с различными межмолекулярными процессами, в растворах электролитов, в смесях, в которых под действием звука возможны химические реакции между компонентами, в эмульсиях, а также в некоторых твёрдых телах.

Величина **Дисперсия звука** может быть весьма различной в разных веществах. Так, например, в углекислом газе величина дисперсии порядка 4%, в бензоле $\sim 10\%$, в морской воде меньше чем 0,01%, а в сильно вязких жидкостях и в высокополимерных соединениях скорость звука может измениться на 50%. Однако в большинстве веществ **Дисперсия звука** весьма малая величина и измерения её довольно сложны. Частотный диапазон, в котором имеет место **Дисперсия звука**, также различен для разных веществ. Так, в углекислом газе при нормальном давлении и температуре 18°C частота релаксации равна 28 кгц, в морской воде 120 кгц. В таких соединениях, как четырёххлористый **углерод**, бензол, **хлороформ** и др., область релаксации попадает в область частот порядка 10^9 - 10^{10} гц, где обычные ультразвуковые методы измерений не применимы и **Дисперсия звука** можно измерить, только используя оптические методы.

К **Дисперсия звука** 1-го же типа, но не носящей релаксационного характера, приводят теплопроводность и вязкость среды. Эти виды **Дисперсия звука** обусловлены обменом энергией между областями сжатия и разрежения в звуковой волне и особенно существенны для микронеоднородных сред. **Дисперсия звука** может проявляться также в среде с вкрапленными неоднородностями (резонаторами), например в воде, содержащей пузырьки газа. В этом случае при частоте звука, близкой к резонансной частоте пузырьков, часть энергии звуковой волны идёт на возбуждение колебаний пузырьков, что приводит к **Дисперсия звука** и к возрастанию поглощения звука.

Вторым типом **Дисперсия звука** является «геометрическая» дисперсия, обусловленная наличием границ тела или среды распространения. Она появляется при распространении волн в стержнях, пластинах, в любых **волноводах акустических**. Дисперсия скорости наблюдается для изгибных волн в тонких пластинах и стержнях (толщина пластины или стержня должна быть много меньше, чем длина волны). При изгибании тонкого стержня упругость на изгиб тем больше, чем меньше изгибаемый участок. При распространении изгибной волны длина изгибаемого участка определяется длиной волны. Поэтому с уменьшением длины волны (с повышением частоты) увеличивается упругость, а следовательно, и скорость распространения волны. Фазовая скорость такой волны пропорциональна корню квадратному из частоты, т. е. имеет место положительная дисперсия.

При распространении звука в волноводах звуковое поле можно представить как суперпозицию нормальных волн, фазовые скорости которых для прямоугольного волновода с жёсткими стенками имеют вид

$$c^{(n)} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{nc\pi}{\omega d}\right)^2}},$$

где n - номер нормальной волны ($n = 1, 2, 3, \dots$), c - скорость звука в свободном пространстве, d - ширина волновода. Фазовая скорость [нормальной волны](#) всегда больше скорости звука в свободной среде и уменьшается с ростом частоты («отрицательная» дисперсия).

Дисперсия звука обоих типов приводит к расплыванию формы импульса при его распространении. Это особенно важно для [гидроакустики](#), [атмосферной акустики](#) и [геоакустики](#), где имеют дело с распространением звука на большие расстояния.

Лит.: Бергман Л., Ультразвук и его применение в науке и технике, пер. с нем., 2 изд., М., 1957; Михайлов И. Г., Соловьёв В. А. и Сырников Ю. П., Основы молекулярной акустики, М., 1964; Физическая акустика, под ред. У. Мэзона, пер. с англ., т. 2, ч. А, М., 1968; Фабелинский И. Л., Молекулярное рассеяние света, М., 1965.

А. Л. Полякова.