

# Техническая акустика и защита от шума



Лекция №1  
Упругая среда.

Понятие волны в упругой среде  
Поперечная и продольная волна в упругой  
среде.

# Цель работы

Ознакомиться с основными понятиями и определениями, физическими закономерностями и принципами распространения звуковых волн в различных средах

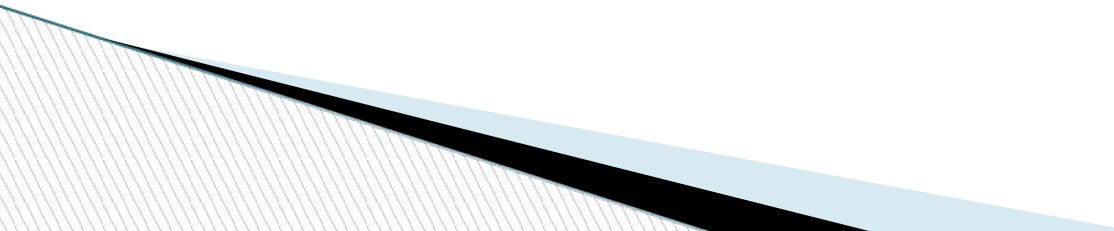


# 1 Упругая среда. Понятие волны в упругой среде.

**Упругая среда** – это среда, частицы которой связаны между собой упругими силами



- Если колеблющееся тело находится в упругой среде, то оно приводит в колебательное движение соприкасающиеся с ним частицы среды, которые создают периодические деформации.
- При этих деформациях в среде появляются упругие силы, стремящиеся вернуть элементы среды к первоначальным состояниям равновесия; благодаря взаимодействию соседних элементов среды, упругие деформации будут передаваться от одних участков среды к другим, более удаленным от колеблющегося тела.

- Периодические деформации, вызванные в каком-нибудь месте упругой среды, будут распространяться в среде с некоторой скоростью, зависящей от ее физических свойств.
  - При этом частицы среды совершают колебательное движение около положений равновесия. От одних участков среды к другим передается только состояние деформации.
  - Процесс распространения колебательного движения в среде называется волновым процессом или просто **волной**.
- 

## 2 Поперечная и продольная волна в упругой среде. Понятие длины волны

- В зависимости от характера возникающих упругих деформаций различают продольные и поперечные волны.
- В продольных волнах частицы среды колеблются вдоль направления распространения колебаний. В поперечных волнах частицы среды колеблются перпендикулярно направлению распространения волны.

## ПРОДОЛЬНЫЕ ВОЛНЫ

ВОЛНЫ ВО ВРЕМЯ ШТОРМА



ВОЛНЫ У БЕРЕГА



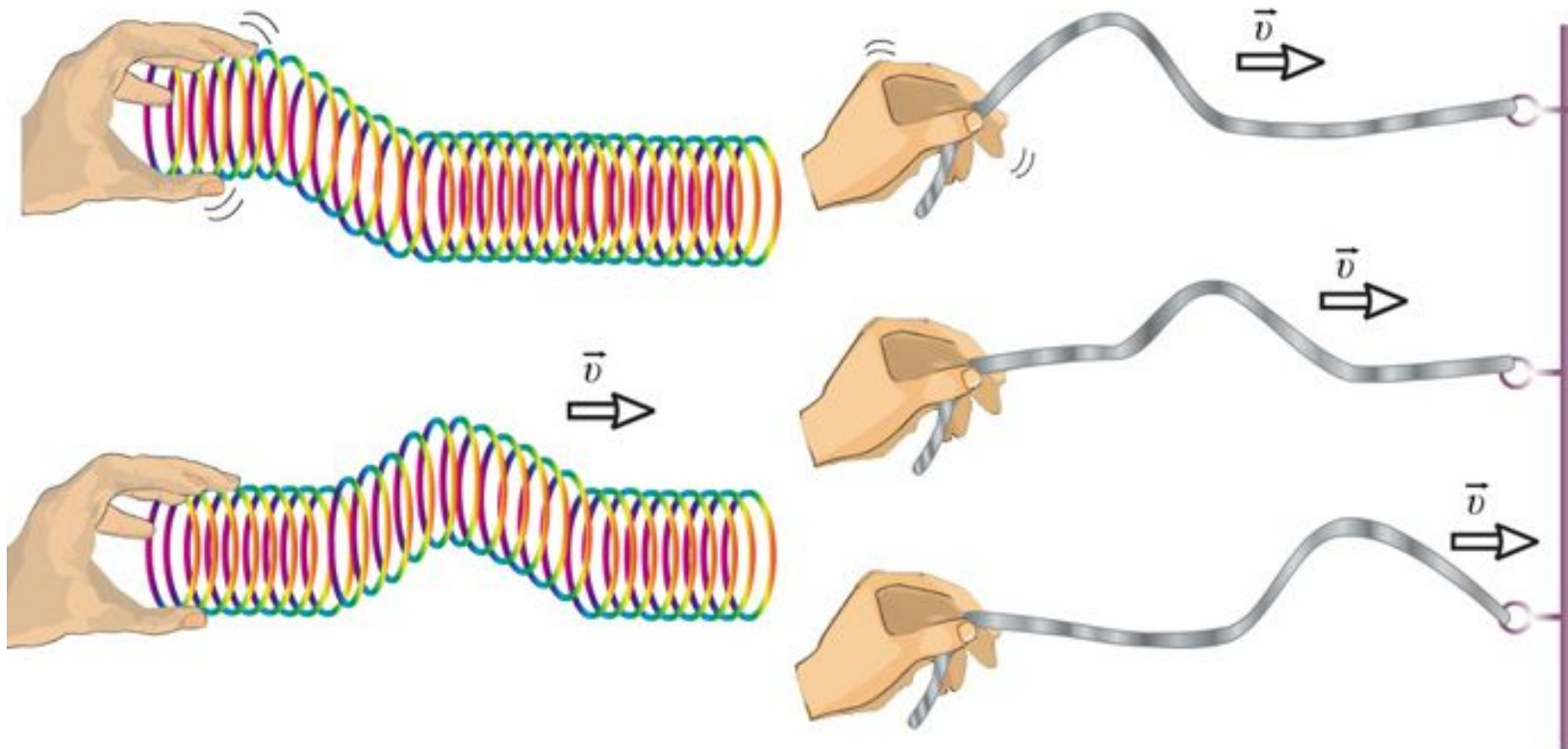
Волну называю продольной, в том случае, если частицы среды совершают колебания в направлении распространения волны



# ВОЗНИКНОВЕНИЕ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ ВОЛН В ТВЁРДОМ ТЕЛЕ

В пружине

В шнуре



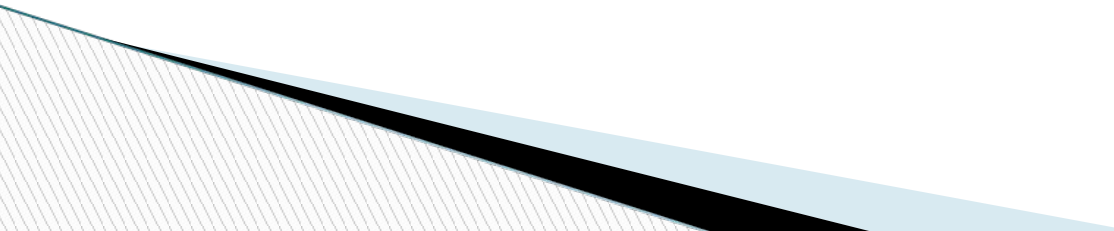
Волну называют поперечной волной, если колебания частиц среды происходят в направлениях перпендикулярных к направлению распространения волны.

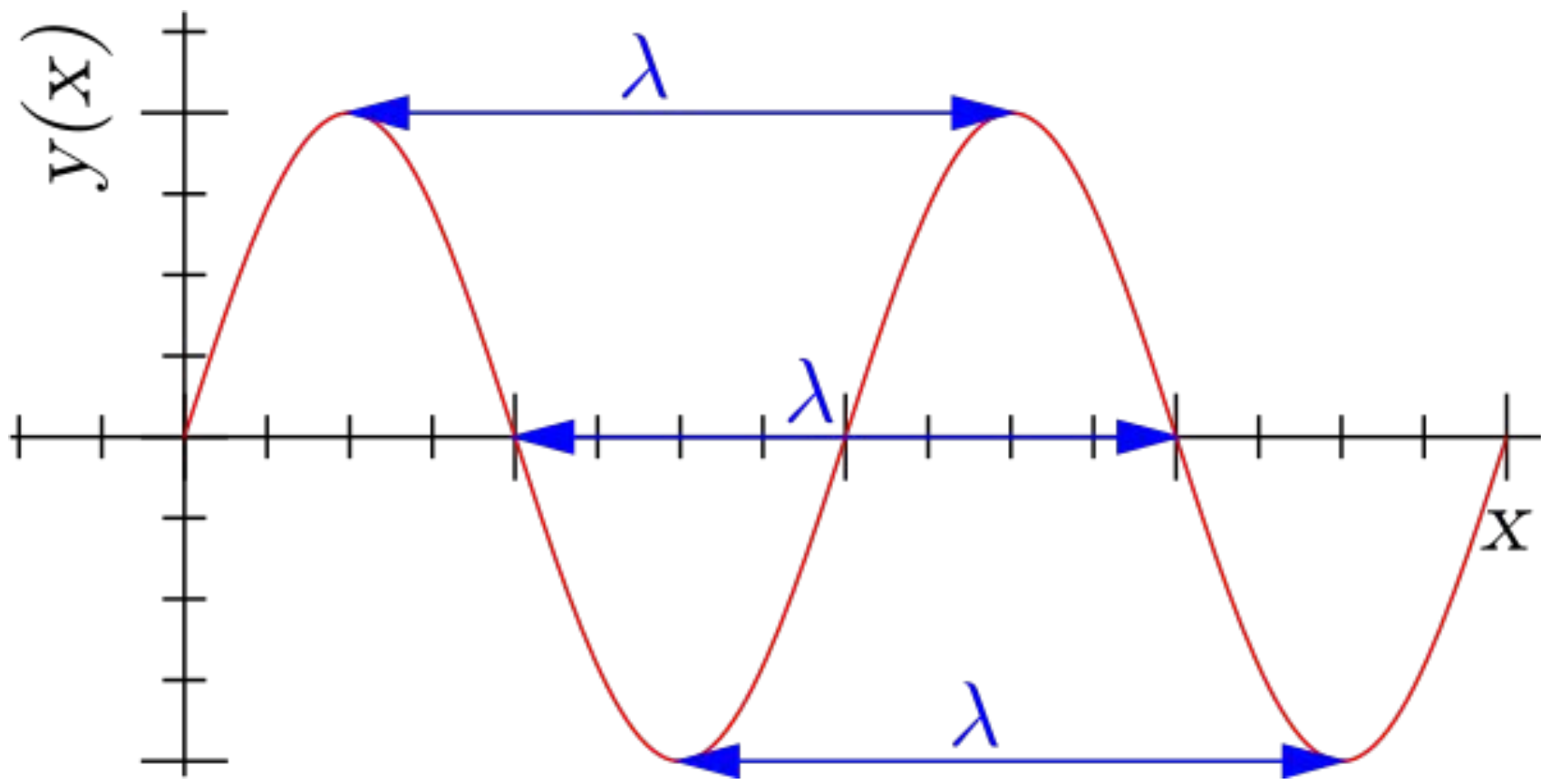


- Жидкие и газообразные среды не имеют упругости сдвига, поэтому в них возбуждаются только продольные волны, распространяющиеся в виде чередующихся сжатий и разрежений. Волны, возбуждаемые на поверхности воды, являются поперечными, они обязаны своим существованием земному притяжению.
- В твёрдых телах могут быть вызваны и продольные и поперечные волны.

# Длина волны

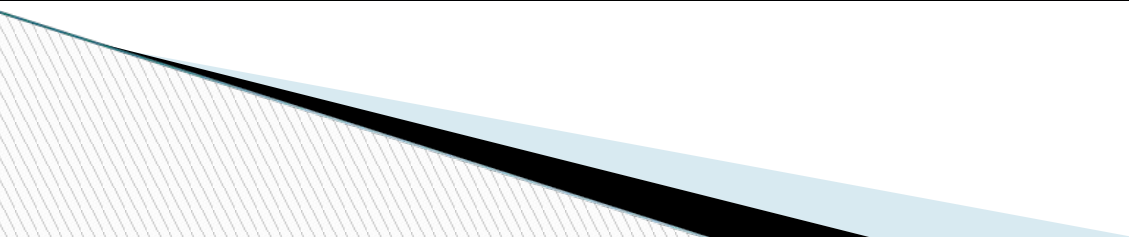
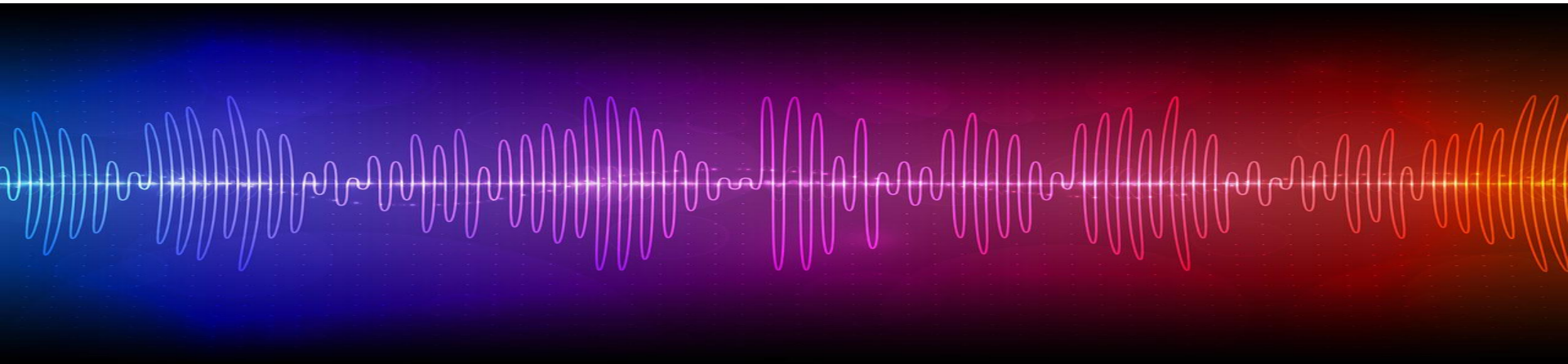
**Дли́на волны́** — расстояние — расстояние между двумя ближайшими друг к другу точками в пространстве, в которых колебания происходят в одинаковой фазе.





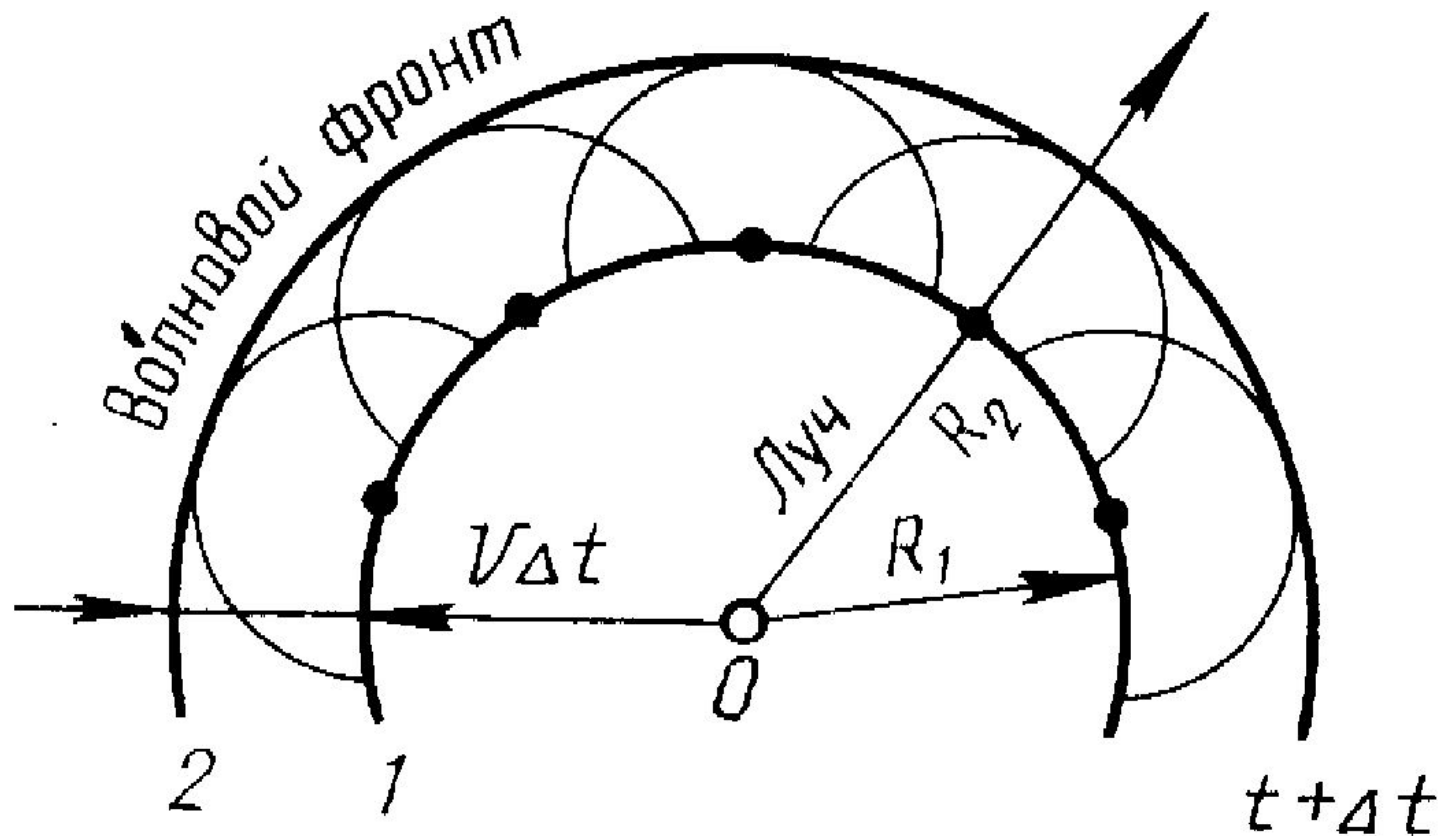
# 3 Звук, звуковая волна, волновая поверхность (фронт волны), луч

- Звук — физическое явление, представляющее собой распространение в виде упругих волн механических колебаний в твёрдой, жидкой или газообразной среде.



- Пусть точечный источник волны начал возбуждать в среде колебания в момент времени  $t = 0$ ; по истечению времени  $t$  это колебание распространится по различным направлениям на расстояние  $r = v_i t$ , где  $v_i$  - скорость волны в данном направлении. Поверхность, до которой доходит колебание в некоторый момент времени, называется **фронтом волны**.

- ▣ **Луч** — линия, нормальная — линия, нормальная к волновой поверхности. Под направлением распространения волн понимают направление лучей. Если среда распространения волны однородная и изотропная, лучи прямые (причем, если волна плоская — параллельные прямые).





# 4 Расчет скорости распространения звуковой волны в газах и

## ЖИДКОСТЯХ

- Скорость звука в однородной жидкости (или газе) вычисляется по формуле:

$$c = \sqrt{\frac{1}{\beta\rho}}$$

- В частных производных:

$$c = \sqrt{-v^2 \left( \frac{\partial p}{\partial v} \right)_s} = \sqrt{-v^2 \frac{C_p}{C_v} \left( \frac{\partial p}{\partial v} \right)_T}$$

- где  $\beta$  — адиабатическая сжимаемость среды;  $\rho$  — плотность;  $C_p$  — изобарная теплоемкость;  $C_v$  — изохорная теплоемкость;  $p, v, T$  — давление, удельный объем и температура среды;  $s$  — энтропия среды.

- Для газов формула выглядит так:

$$c = \sqrt{\frac{\gamma k T}{m}} = \sqrt{\frac{\gamma R T}{M}} = \sqrt{\frac{\gamma R (t + 273,15)}{M}} = \alpha \sqrt{T}$$

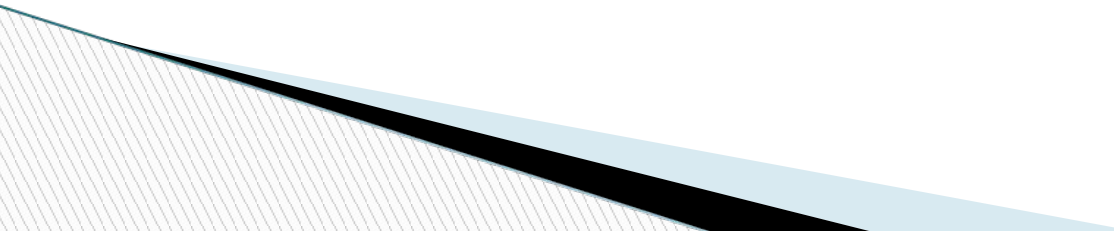
- где  $\gamma$  — показатель адиабаты: 5/3 для одноатомных газов, 7/5 для двухатомных (и для воздуха), 4/3 для многоатомных;
- $k$  — постоянная Больцмана;
- $R$  — универсальная газовая постоянная;
- $T$  — абсолютная температура в кельвинах;
- $t$  — температура в градусах Цельсия;
- $m$  — молекулярная масса;
- $M$  — молярная масса.

$$\alpha = \sqrt{\frac{\gamma R}{M}}$$

- По порядку величины скорость звука в газах близка к средней скорости теплового движения молекул и в приближении постоянства показателя адиабаты пропорциональна квадратному корню из абсолютной температуры.

## 5 Скорости распространения звуковой волны в жидкостях и твердых телах.

Скорость звука — скорость распространения упругих волн в среде: как продольных (в газах, жидкостях или твёрдых телах), так и поперечных, сдвиговых (в твёрдых телах). Определяется упругостью и плотностью среды: как правило, в газах скорость звука меньше, чем в жидкостях, а в жидкостях — меньше, чем в твёрдых телах.



- Также, в газах скорость звука зависит от температуры данного вещества, в монокристаллах — от направления распространения волны. Обычно не зависит от частоты волны и её амплитуды; в тех случаях, когда скорость звука зависит от частоты, говорят о дисперсии звука.

**Скорость звука в газах  
0 °С, 101325 Па;**

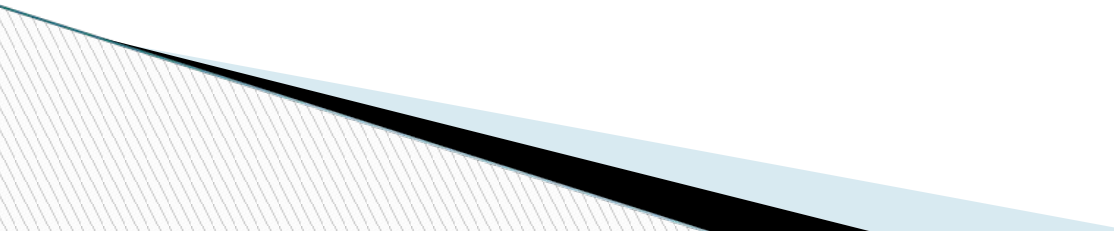
<b>Вещество</b>	<b>м/с</b>	<b>км/ч</b>
<b>Азот</b>	334	1'202.4
<b>Аммиак</b>	415	1'494.0
<b>Ацетилен</b>	327	1'177.2
<b>Водород</b>	1284	4'622.4
<b>Воздух</b>	331	1'191.6
<b>Гелий</b>	965	3'474.0
<b>Кислород</b>	316	1'137.6
<b>Метан</b>	430	1'548.0
<b>Угарный газ</b>	338	1'216.8
<b>Углекислый газ</b>	259	932.4
<b>Хлор</b>	206	741.6

Скорость звука в воздухе при различной температуре. От -150 до 1000 °С.

t, °С	скорость звука в воздухе	
	м/с	км/ч
-150	216,7	780,1
-100	263,7	949,2
-50	299,3	1077,6
-20	318,8	1147,8
-10	325,1	1170,3
0	331,5	1193,4
10	337,3	1214,1
20	343,1	1235,2
30	348,9	1256,2
50	360,3	1296,9
100	387,1	1393,7
200	436,0	1569,5
300	479,8	1727,4
400	520,0	1872,1
500	557,3	2006,4
1000	715,2	2574,8

Скорость звука в газах увеличивается с повышением температуры. При повышении температуры воздуха на 1 ° скорость звука в нем увеличивается на 0,59 м/с.



- В однородных твёрдых телах могут существовать два типа объемных волн, отличающихся друг от друга поляризацией колебаний относительно направления распространения волны: продольная (Р-волна) и поперечная (S-волна). Скорость распространения первой всегда выше, чем скорость второй.
  - В многофазных средах из-за явлений неупругого поглощения энергии скорость звука, вообще говоря, зависит от частоты колебаний (то есть наблюдается дисперсия скорости).
  - При наличии границ раздела, упругая энергия может передаваться посредством поверхностных волн различных типов, скорость которых отличается от скорости продольных и поперечных волн. Энергия этих колебаний может во много раз превосходить энергию объемных волн.
- 

## Твердые вещества при температуре 25 °С

Наименование	Скорость звука (м/с)
Алмаз	12000-18350
Бетон	4250-5250
Графит	1470
Дерево дуб	4115
Дерево пробка	430-530
Дерево сосна	5030
Стеарин 20 °С	1380
Стекло (борсиликатное)	5640
Железо, сталь	5130
Алюминий	5100-6250
Кирпич	3600
Лед -4°С	3980
Медь	3560
Золото	3240
Оргстекло	2550-2680
Резина	1600
Шифер	4510
Чугун	3850

- В чистой воде скорость звука составляет 1500 м/с.
  - Прикладное значение имеет также скорость звука в солёной воде океана. Скорость звука увеличивается в более солёной и более тёплой воде. При большем давлении скорость также возрастает, то есть чем глубже, тем скорость звука больше.
- 