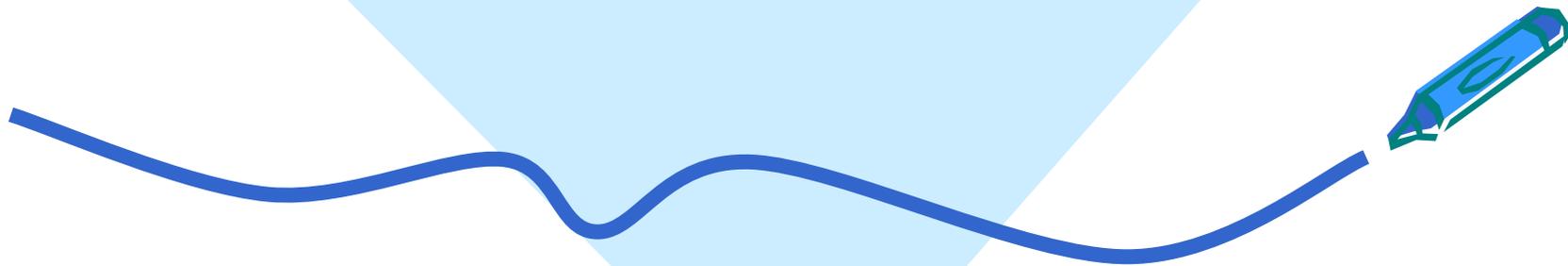
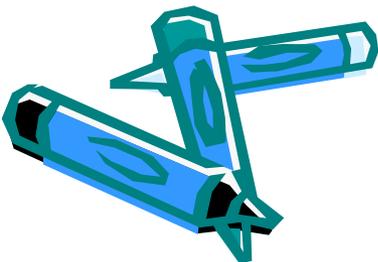


Тема:
**Механические колебания
и волны. Акустика**

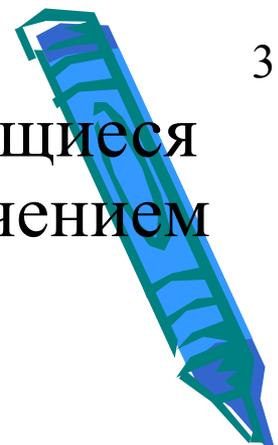
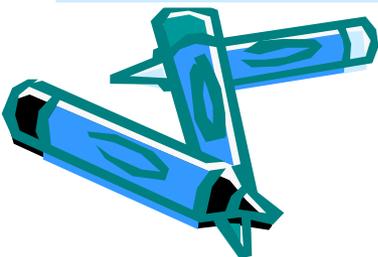


1. Колебания.

Характеристики колебаний



Колебаниями называются процессы, отличающиеся той или иной степенью повторяемости с течением времени.

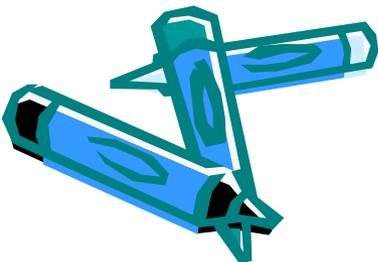


Свободные (собственные) колебания — это колебания, которые совершаются без внешних воздействий за счет первоначально накопленной энергии.

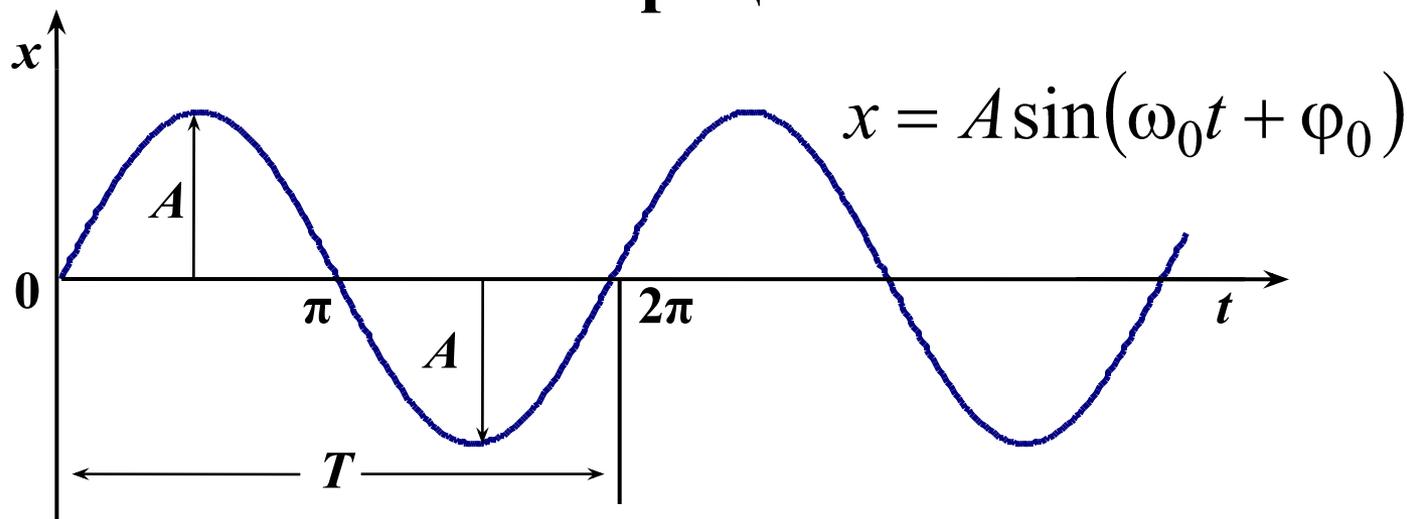
Периодическими называют такие колебания, при которых все характеристики движения повторяются через определенные промежутки времени.

Гармонические колебания — это колебания, при которых колеблющаяся величина изменяется во времени по закону синуса или косинуса.

$$x = A \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \quad \text{или} \quad x = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$



Основные характеристики колебательного процесса



Смещение (x) – расстояние от материальной точки до положения равновесия в любой момент времени. $[x] = [1 \text{ м}]$

Амплитуда (A) – наибольшее (максимальное) смещение материальной точки от положения равновесия. $[A] = [1 \text{ м}]$

Период колебаний (T) – время, в течение которого совершается одно полное колебание. $[T] = [1 \text{ с}]$

$$T = \frac{t}{N}$$

Частота колебаний (ν) – число полных колебаний в единицу времени.

$$\nu = \frac{N}{t}$$

$$[\nu] = [1 \text{ c}^{-1} = 1 \text{ Гц}]$$

Связь между частотой и периодом:

$$\nu = \frac{1}{T}$$

Круговая частота (ω) – число колебаний, совершаемых за 2π секунд.

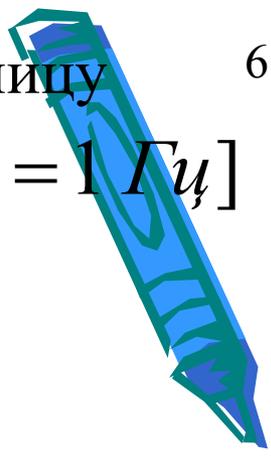
$$[\omega] = [1 \text{ рад/с}]$$

Связь между круговой частотой, частотой и периодом колебаний:

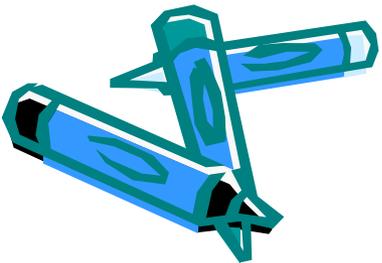
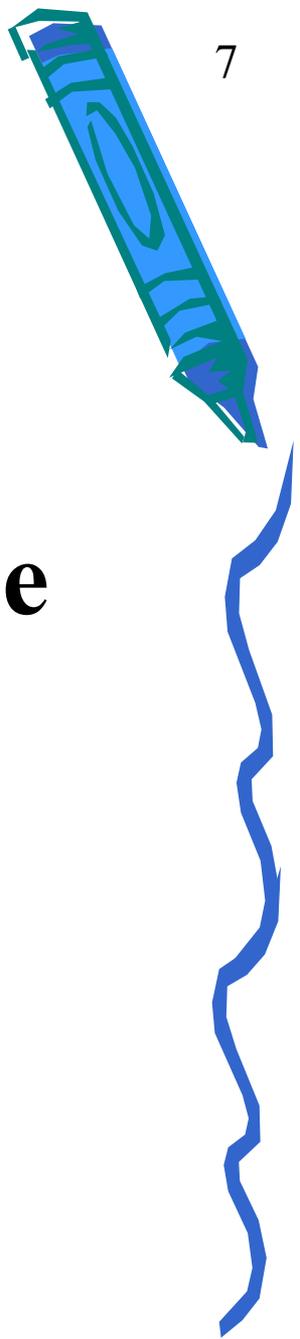
$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$$

Фаза колебаний ($\omega_0 t + \varphi_0$) – это угловой путь, пройденный телом, характеризует смещение в любой момент времени.

Начальная фаза колебаний (φ_0) – это некоторый угол от положения равновесия, с которого начинаются колебания.



2. Свободные гармонические незатухающие колебания



$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0 - \text{ДУ незатухающих колебаний}$$

ω_0 – собственная частота колебаний.

$$x = A \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

$$x = A \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

- решение данного ДУ

$$\frac{k}{m} = \omega_0^2$$

Скорость колеблющегося тела:

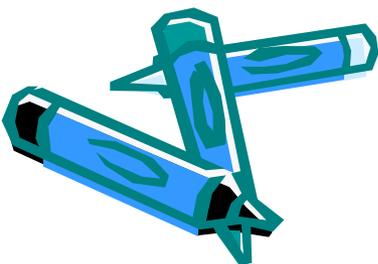
$$\begin{aligned} v &= x' = [A \sin(\omega_0 t + \varphi_0)]' = \\ &= A \omega_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = v_{\max} \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \end{aligned}$$

Ускорение колеблющегося тела:

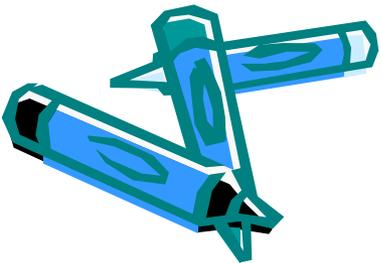
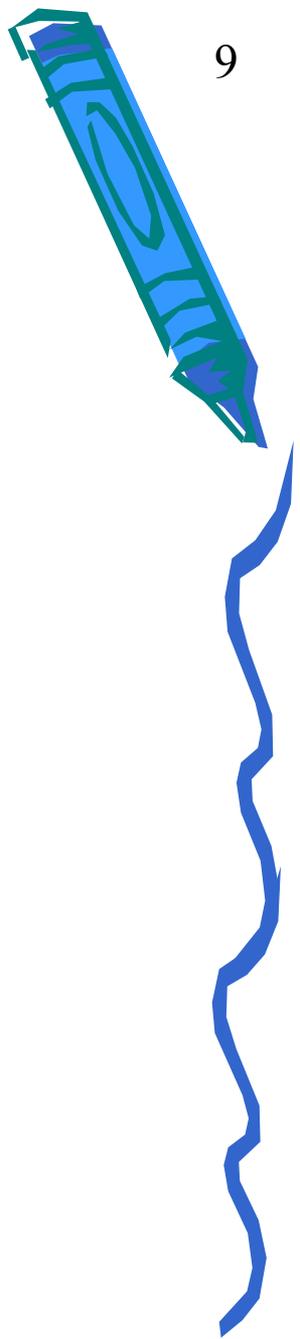
$$\begin{aligned} a &= x'' = v' = [A \omega_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0)]' = \\ &= -A \omega_0^2 \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = -a_{\max} \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \end{aligned}$$

$$v_{\max} = A \omega_0 \quad \text{и} \quad a_{\max} = A \omega_0^2$$

- амплитудные значения скорости и ускорения



3. Свободные затухающие колебания



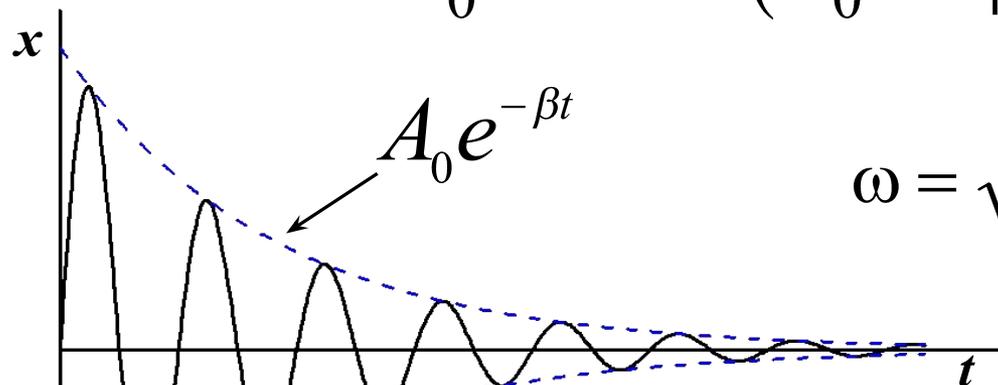
$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0 \quad - \text{ДУ затухающих колебаний}$$

$$\frac{k}{m} = \omega_0^2 \quad \text{и} \quad \frac{r}{m} = 2\beta \quad \begin{array}{l} \beta - \text{коэффициент затухания} \\ r - \text{коэффициент трения} \end{array}$$

$$\beta < \omega$$

$$x = A_0 e^{-\beta t} \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

$$x = A_0 e^{-\beta t} \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad - \text{решение данного ДУ}$$



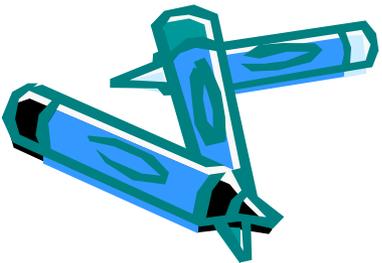
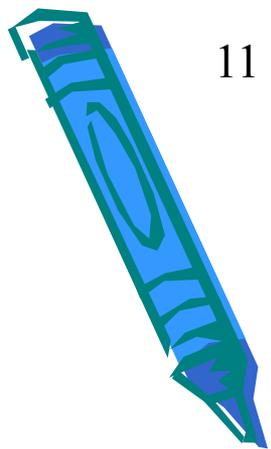
$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} \quad - \text{круговая частота колебаний, при } \beta \rightarrow 0, \omega \rightarrow \omega_0$$

$$A(t) = \pm A_0 e^{-\beta t} \quad - \text{амплитуда затухающих колебаний}$$

Период затухающих колебаний: $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}$

Логарифмический декремент затухания:

$$\lambda = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \ln \frac{A_0 e^{-\beta t}}{A_0 e^{-\beta(t+T)}} = \ln(e^{\beta T}) = \beta T$$



4. Уравнение плоской волны. Характеристики волны



Процесс распространения механических колебаний в упругой среде, называется *волной*.

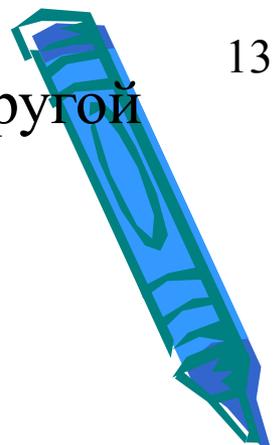


Это волна, в которой колебания частиц среды происходят в направлении распространения волны.

В телах, обладающих упругостью объема (в любых средах: твердых, жидких, газообразных)

Это волна, в которой колебания частиц среды происходят перпендикулярно направлению распространения волны.

В твердых телах, которые обладают упругостью формы.

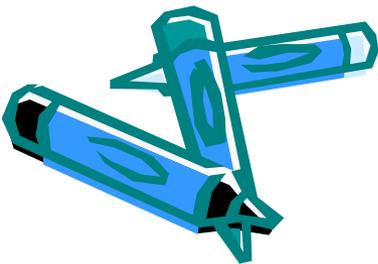
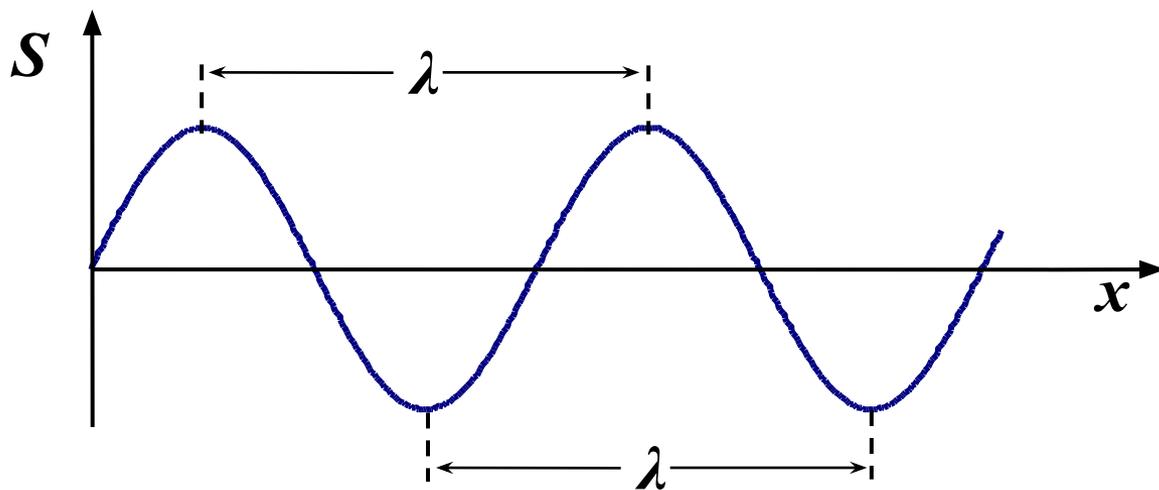


Длина волны λ – это расстояние, на которое перемещается фронт за время, равное периоду колебаний частиц среды:

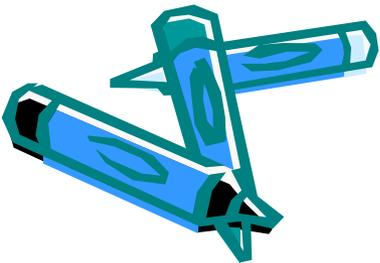
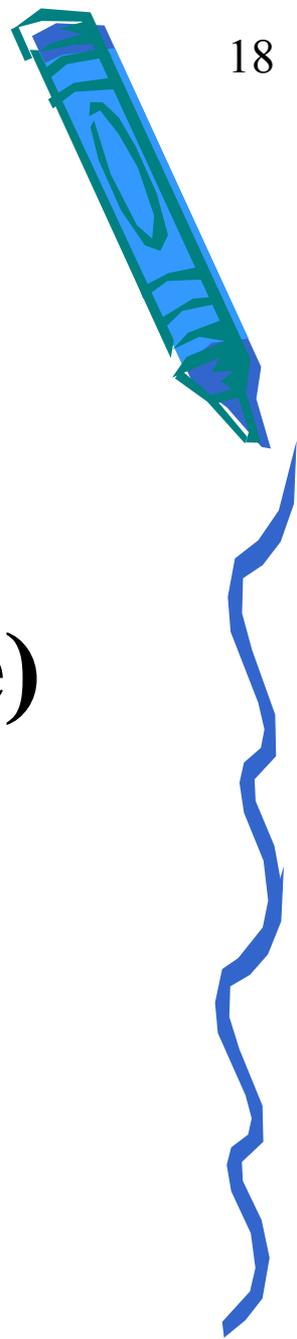
$$\lambda = vT = \frac{v}{\nu} \quad [\lambda] = [1\text{м}]$$

$$S = A \sin \omega \left(t - \frac{x}{v} \right) \quad \text{уравнение плоской волны}$$

$$S = f(x, t) \quad t = \text{const}$$



**5. Акустика.
Физические (объективные)
характеристики звука**

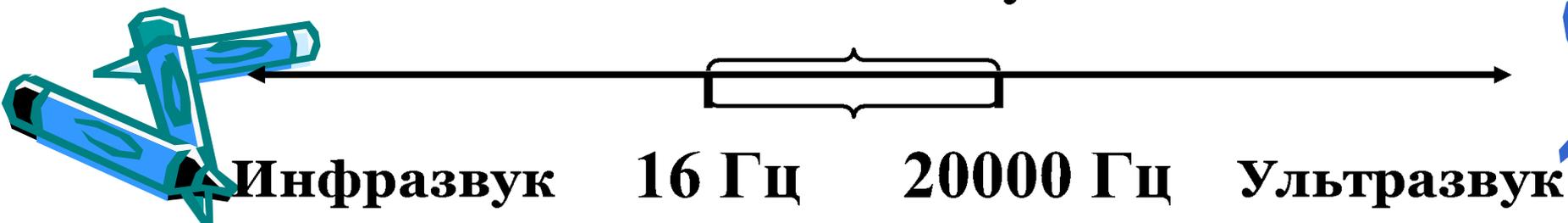


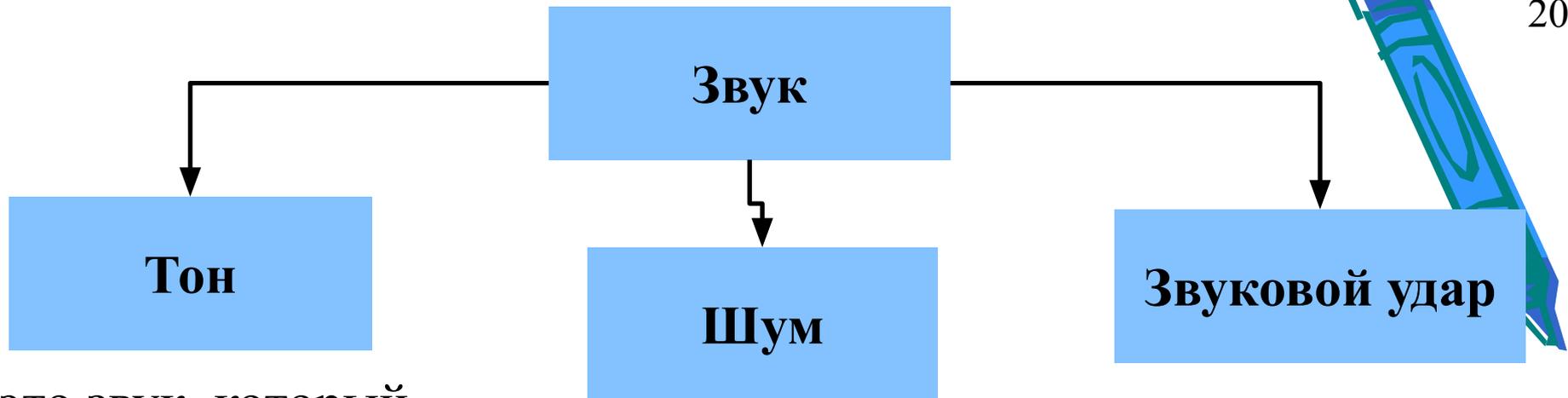
Акустика – область физики, изучающая упругие колебания и волны, методы получения и регистрации колебаний и волн, их взаимодействие с веществом.

В узком смысле **акустика** – учение о звуке, т.е. об упругих колебаниях и волнах в газах, жидкостях и твердых телах, воспринимаемых человеческим ухом.

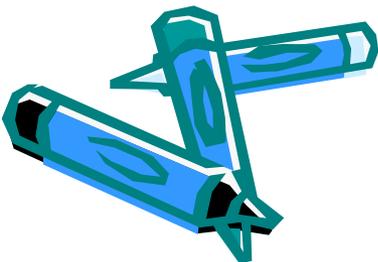
Звук (звуковые колебания) – это колебания частиц в упругих средах, распространяющиеся в форме продольных волн, частота которых лежит в диапазоне частот, воспринимаемых ухом человека, от 16 до 20 000 Гц.

**Слышимый
человеком звук**





это звук, который представляет собой регулярное колебание с постоянными или закономерно изменяющимися во времени амплитудой и частотой.



звук, имеющий сложную неповторяющуюся временную зависимость и представляющий собой сочетание беспорядочно изменяющихся сложных тонов.

это кратковременное звуковое воздействие: хлопок, взрыв и др.



Физические (объективные) характеристики звука

1. Скорость звука.
$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{\mu}} \quad \gamma = C_P / C_V$$

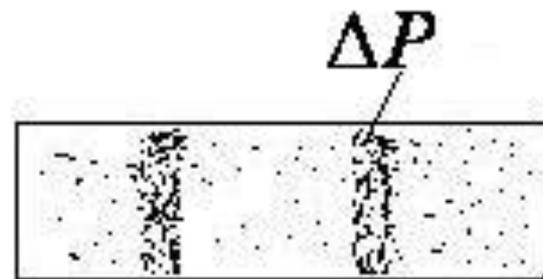
– отношение теплоёмкостей при постоянном давлении и объёме,
 R – универсальная газовая постоянная,
 μ – молярная масса газа.

$$v_{\Gamma} < v_{\text{Ж}} < v_{\text{Т}}$$

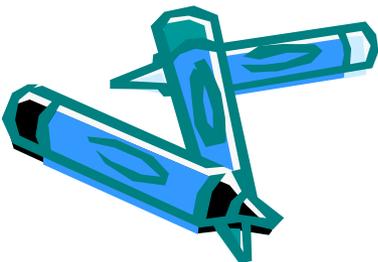
2. Звуковое (акустическое) давление ΔP –

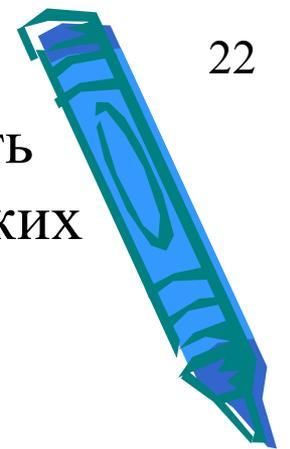
это давление, добавочное к среднему давлению, периодически изменяющееся, образующееся в участках сгущения и разрежения частиц в звуковой волне.

$$[\Delta P] = 1 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 1 \text{ Па}$$



$$P_1 = P \pm \Delta P$$





3. Акустическое сопротивление среды (ω) – это произведение скорости звука в данной среде на плотность среды; является основной характеристикой ее акустических свойств. $\omega = \rho \cdot v$

4. Интенсивность звука I – плотность потока энергии, переносимая звуковой волной, т.е. средняя энергия, переносимая волной за 1 секунду через единичную площадку, перпендикулярную направлению распространения волны.

$$[I] = 1 \frac{Вт}{м^2}$$

Между звуковым давлением и интенсивностью звуковой волны существует связь, определяемая формулами:

$$I = \frac{(\Delta P_0)^2}{2\rho v} \quad \text{или} \quad I = \frac{(\Delta P_{эф})^2}{\rho v}$$

