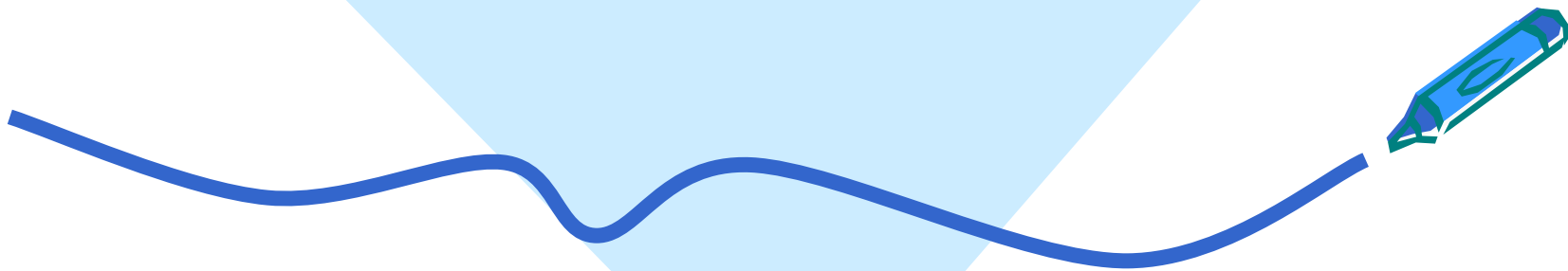
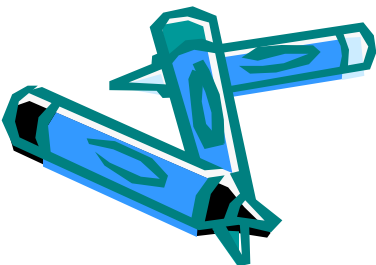


**Тема:**  
**Механические колебания  
и волны. Акустика**

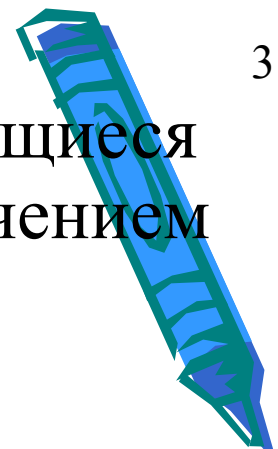
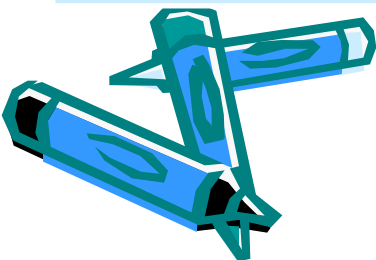


# 1. Колебания.

## Характеристики колебаний



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

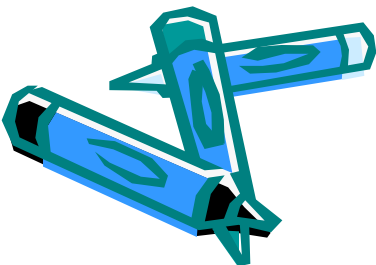


**Свободные (собственные) колебания** — это колебания, которые совершаются без внешних воздействий за счет первоначально накопленной энергии.

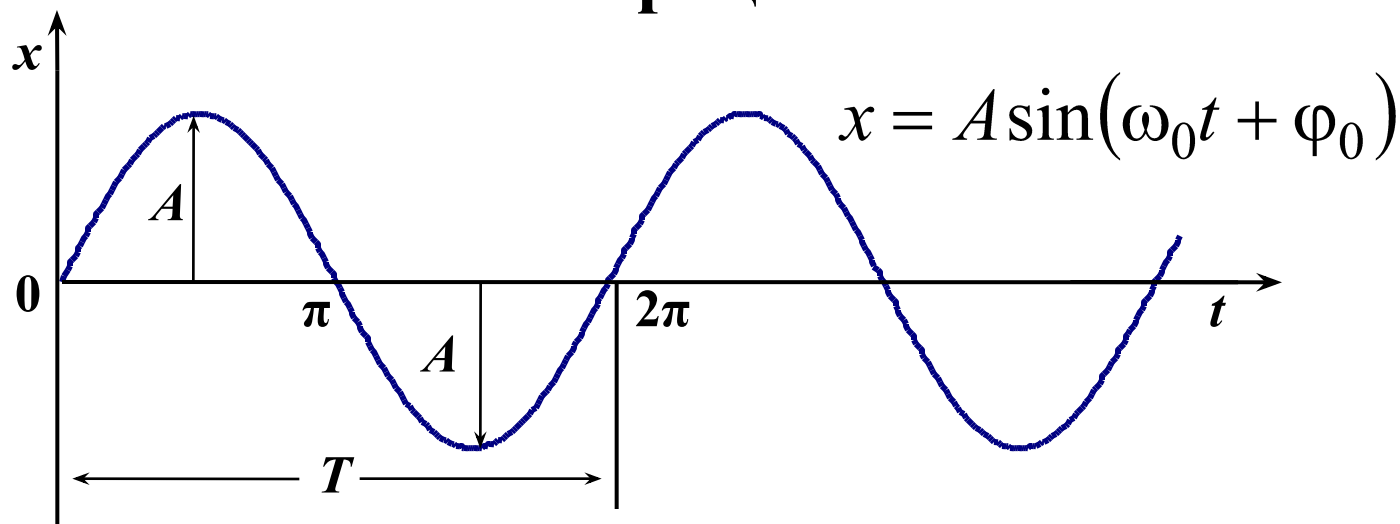
**Периодическими** называют такие колебания, при которых все характеристики движения повторяются через определенные промежутки времени.

**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 ( $\nu$ )** – 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 ( $\omega$ )** – число колебаний, совершаемых за  $2\pi$  секунд.

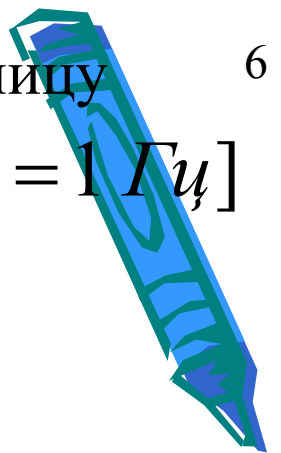
$$[\omega] = [1 \text{ рад/с}]$$

Связь между круговой частотой, частотой и периодом колебаний:

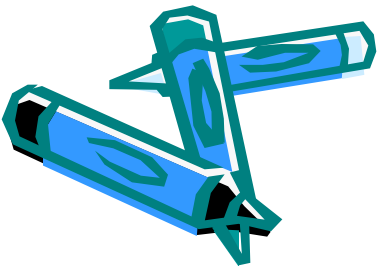
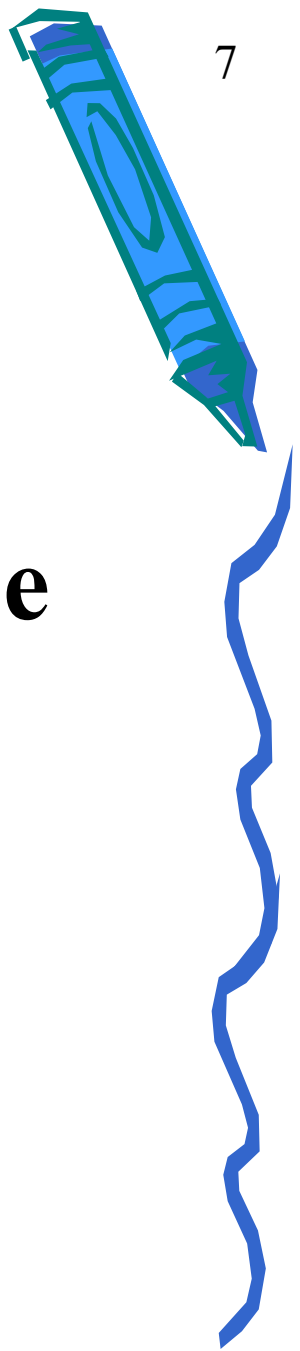
$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$$

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

**Начальная фаза колебаний ( $\varphi_0$ )** – это некоторый угол от положения равновесия, с которого начинаются колебания.



## **2. Свободные гармонические незатухающие колебания**



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

$\omega_0$  – 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:

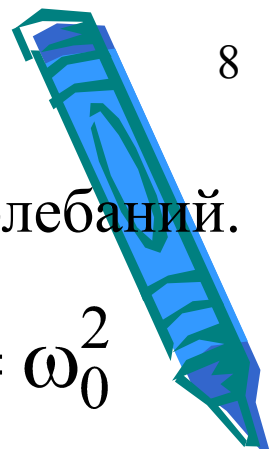
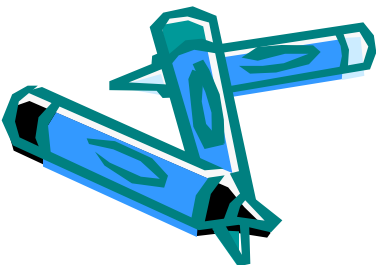
$$\begin{aligned} v &= x' = [A \sin(\omega_0 t + \varphi_0)]' = \\ &= A \omega_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = v_{\max} \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \end{aligned}$$

**Ускорение** колеблющегося тела:

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

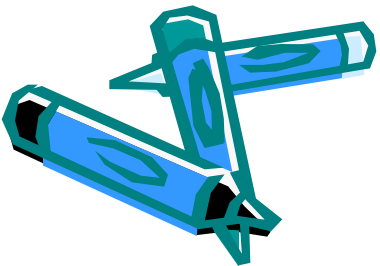
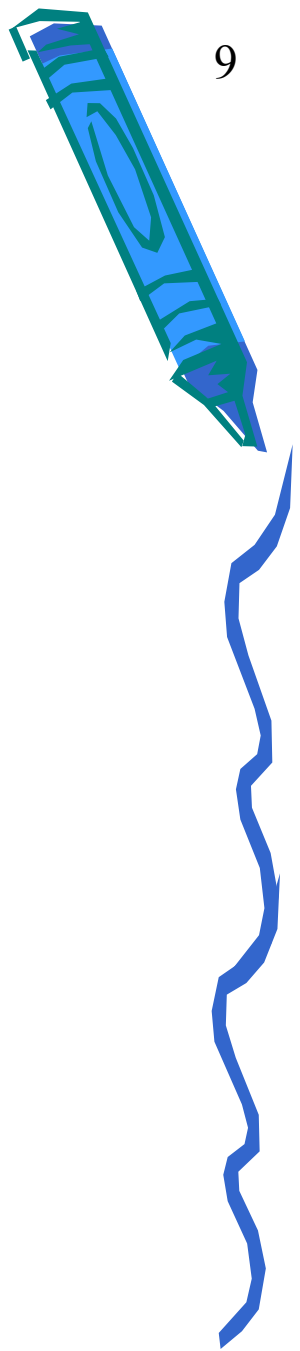
$$v_{\max} = A \omega_0 \quad \text{и} \quad a_{\max} = A \omega_0^2$$

- амплитудные значения скорости и ускорения





### **3. Свободные затухающие колебания**



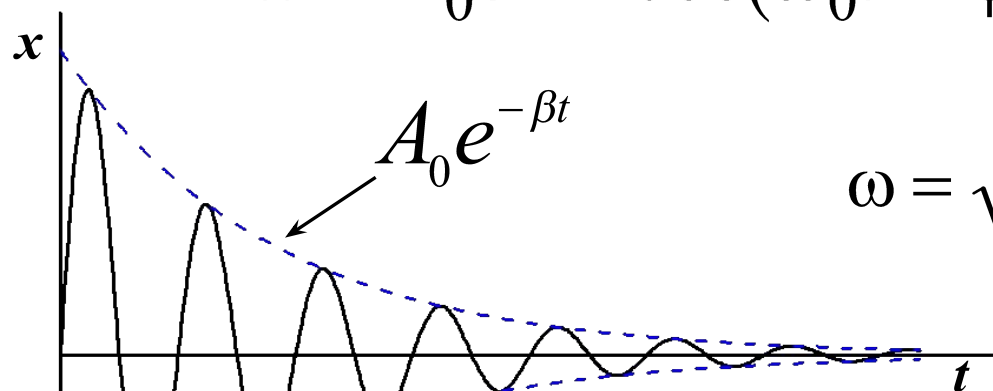
$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0 \quad - \text{ДУ затухающих колебаний}$$

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

$$\beta < \omega$$

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

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



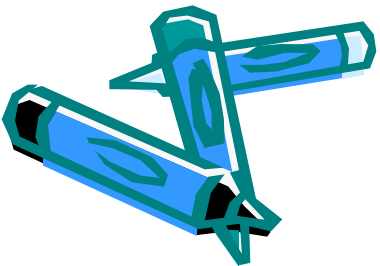
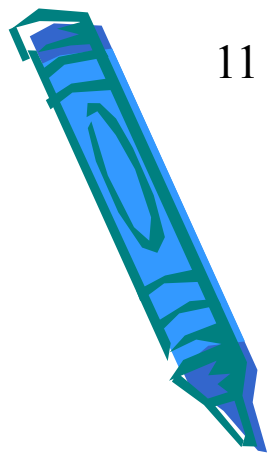
$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} \quad - \text{круговая частота колебаний, при } \beta \rightarrow 0, \omega \rightarrow \omega_0$$

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

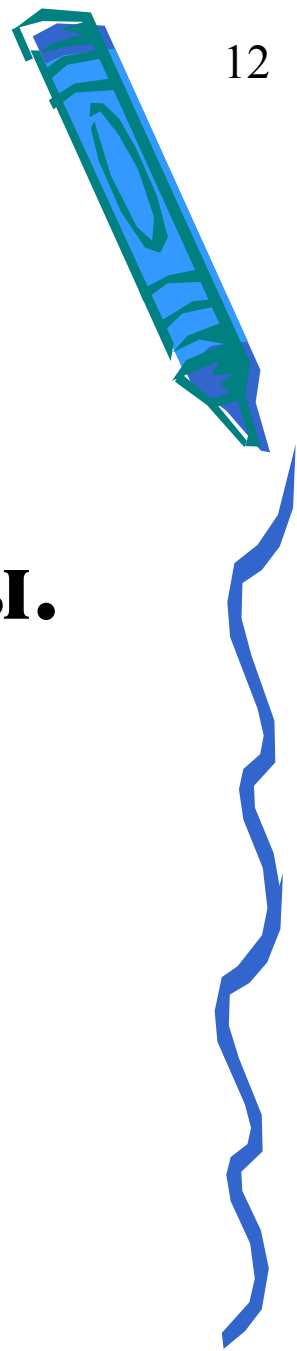
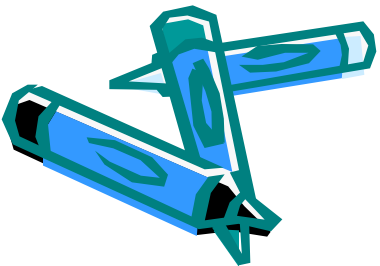
*Период* затухающих колебаний:  $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}$

*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*.

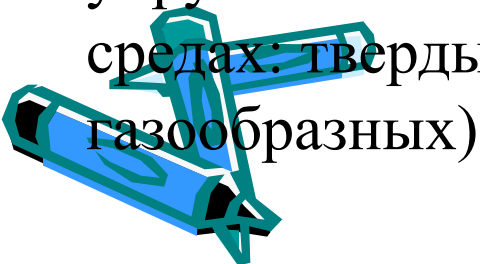


Это волна, в которой колебания частиц среды происходят в направлении распространения волны.

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.

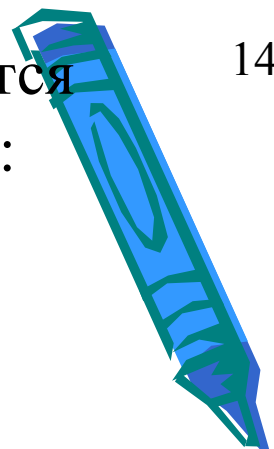
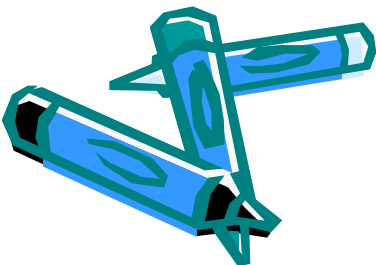
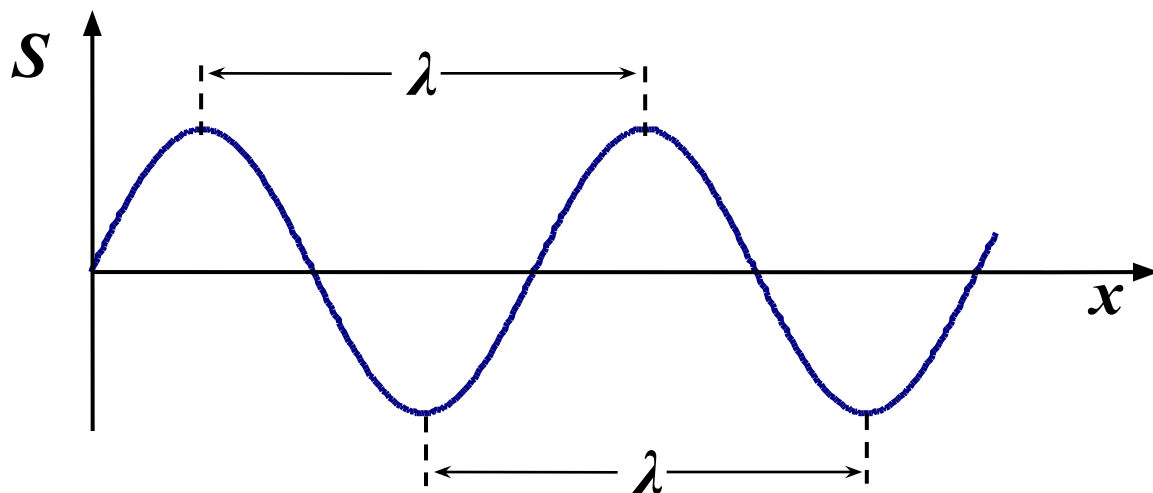


Длина волны  $\lambda$  – это расстояние, на которое перемещается фронт за время, равное периоду колебаний частиц среды:

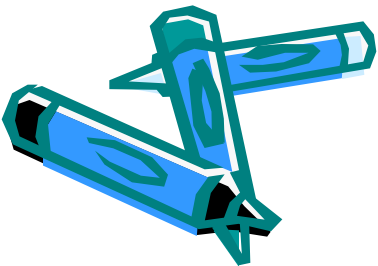
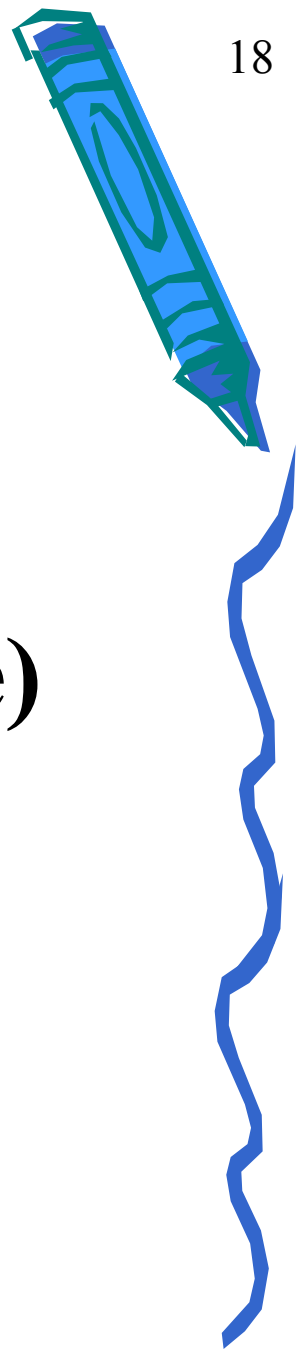
$$\lambda = vT = \frac{v}{\nu} \quad [\lambda] = [1\text{м}]$$

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

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



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

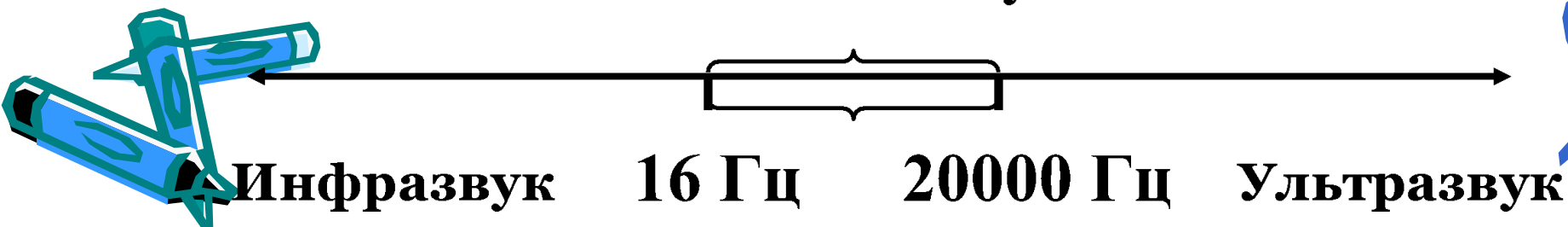


**Акустика** – область физики, изучающая упругие колебания и волны, методы получения и регистрации колебаний и волн, их взаимодействие с веществом.

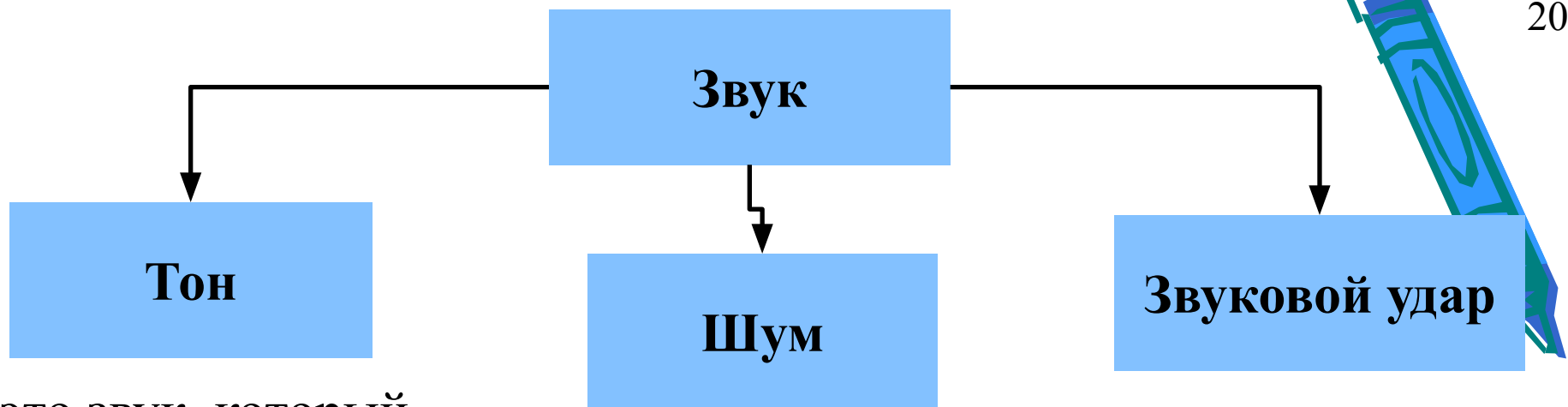
В узком смысле **акустика** – учение о звуке, т.е. об упругих колебаниях и волнах в газах, жидкостях и твердых телах, воспринимаемых человеческим ухом.

**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.

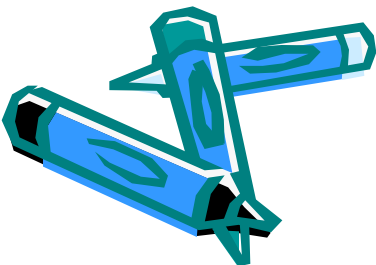
**Слышимый  
человеком звук**







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

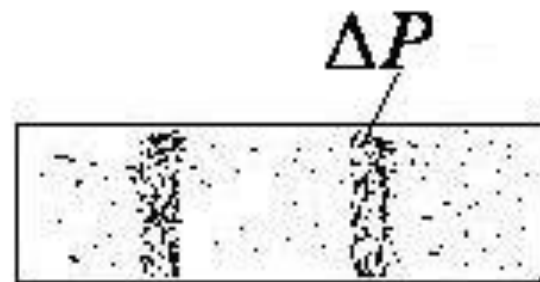
– отношение теплоёмкостей при постоянном давлении и объёме,  
 $R$  – универсальная газовая постоянная,  
 $\mu$  – молярная масса газа.

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

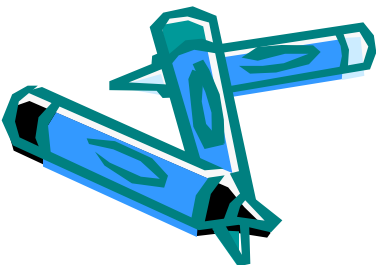
**2. Звуковое (акустическое) давление  $\Delta P$**  –

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 ( $\omega$ )** – 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:

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

