

# Механические волны



Лекция 2

# План лекции

---

- ▣ **Волны в упругой среде. Уравнение волны**
- ▣ **Поток энергии волн. Плотность потока энергии (интенсивность)**
- ▣ **Эффект Доплера и его применение в медицине**

# Механические волны

---

*Механической волной* называют механические возмущения, распространяющиеся в пространстве и несущие энергию.

**Различают два основных вида механических волн: упругие волны – распространение упругих деформаций – и волны на поверхности жидкости.**

# Схема распространения волны

---

$$s = A \cos \omega t$$
$$s = A \cos \omega \left( t - \frac{x}{v} \right)$$

$S$  – смещение,  $x$  – координата,  $v$  – скорость волны

Если  $s$  и  $x$  направлены вдоль одной прямой, то волна *продольная*, если они взаимно перпендикулярны, то волна *поперечная*.

# Фазовая и групповая скорости

---

Скорость распространения фиксированной фазы колебаний называют фазовой.

$$\varphi = \omega \left( t - \frac{x}{v} \right) = \text{const} \qquad 0 = \omega \left( dt - \frac{dx}{v} \right)$$

Фазовая скорость равна  $v = \frac{dx}{dt}$

Групповая скорость – реальная волна, представленная суммой группы синусоидальных волн

# Длина волны

---

**Расстояние между двумя точками, фазы которых в один и тот же момент времени отличаются на  $2\pi$  называется длиной волны**

$$\lambda = T\nu$$

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

# Поток энергии волн

---

Поток энергии волн равен отношению энергии, переносимой волнами через некоторую поверхность, к времени, в течение которого эта энергия перенесена

$$\Phi = \frac{dE}{dt} \text{ (Вт)}$$

# Объемная плотность энергии

---

Средняя энергия колебательного движения, приходящаяся на единицу объема среды называется объемной плотностью энергии

$$\omega_{\rho} = \frac{E}{V} = \frac{E}{S \cdot l} = \frac{E}{S \cdot v \cdot t} \quad \text{Дж/м}^3$$

$$t = lc$$

$$\omega_{\rho} = \frac{E}{S \cdot v} \qquad \omega_{\rho} = \frac{\rho A^2 \omega^2}{2}$$

# Плотность потока энергии (интенсивность)

---

$$I = \frac{\Phi}{S} \text{ Вт/м}^2$$

$$\Phi = \omega_{\rho} \cdot S \cdot \nu$$

$$I = \omega_{\rho} \cdot \nu$$

# Вектор Умова

---

Вектор Умова указывает направление, вдоль которого с определенной скоростью переносится энергия волн со скоростью

$$\vec{I} = \omega_{\rho} \cdot \vec{v}$$

# Эффект Доплера

---

***Эффектом Доплера* называют изменение частоты волн, воспринимаемых наблюдателем (приемником волн), вследствие относительного движения источника волн и наблюдателя.**

---

наблюдатель приближается со  
скоростью  $U_H$  к неподвижному  
относительно среды источнику  
ВОЛН

$$v' = \frac{U + U_H}{U} v \quad v - \text{скорость волны}$$

---

**Источник волн движется со  
скоростью  $v_H$  к неподвижному  
относительно среды наблюдателю**

$$v'' = \left[ \frac{v}{v - v_H} \right] v$$

# Одновременное движение друг к другу наблюдателя и источника

---

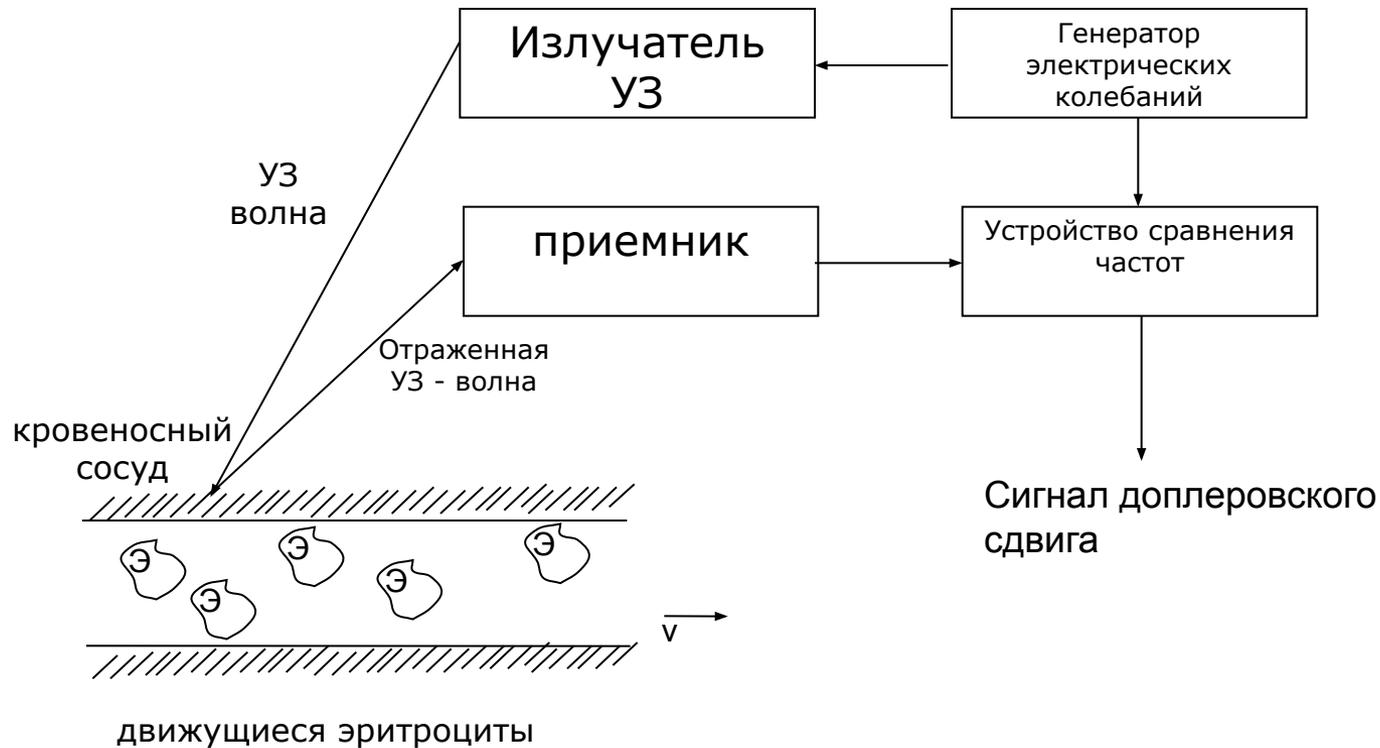
$$v''' = \frac{v + v_H}{v - v_U} v$$

# Удаление источника волн и наблюдателя

---

$$\nu''' = \frac{U - U_H}{U + U_u} \nu$$

# Диагностика на основе эффекта Доплера





**БЛАГОДАРЮ  
ЗА ВНИМАНИЕ**