МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

ЕГЭ. ФИЗИКА
РЕПЕТИЦИЯ ПО ФИЗИКЕ
Владимир Петрович Сафронов 2015
г. Ростов-на-Дону
Звоните: т. 8 928 111 7884
Пишите: safron-47@mail.ru

Основные понятия

Колебаниями называются процессы в той или иной степени повторяющиеся во времени.

Период колебаний T, с — время одного полного колебания $T = \frac{t}{N}$.

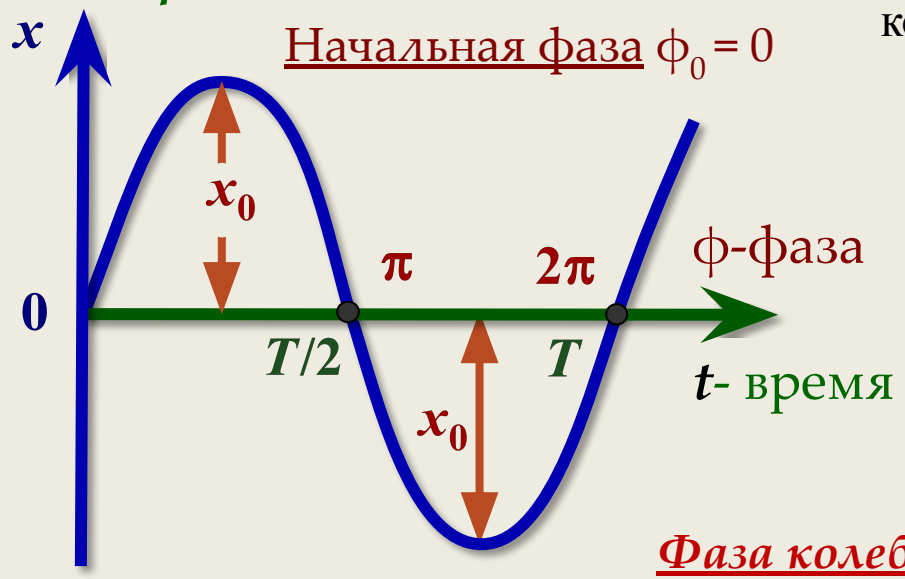
Частота ν, Гц — количество полных колебаний, совершаемых за единицу времени. $\nu = \frac{N}{t}$.

Циклическая (круговая) частота ω, рад/с

$$\omega = \frac{\varphi - \varphi_0}{t} = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}. \qquad \nu = \frac{1}{T}.$$

Гармонические колебания.

Начальная фаза $\phi_0 = 0$



Гармонические колебания — это процессы, в которых физические величины меняются по гармоническому закону (рис):

$$x(t) = x_0 \sin(\omega t + \varphi_0).$$

x_0 — ***амплитуда колебаний*** — максимальное значение колеблющейся величины. Например, наибольшее отклонение маятника x_0, наибольшая скорость v_0 и ускорение маятника a_0.

Фаза колебаний $\omega = \frac{\varphi - \varphi_0}{t} \Rightarrow \varphi = (\omega t + \varphi_0)$.

Начальная фаза колебаний φ_0.

В.П. Сафронов 2015. safron-47@mail.ru т. 8 928 111 7884

Скорость и ускорение гармонических колебаний

Кинематическое уравнение движения $x(t) = x_0 \sin(\omega t + \varphi_0)$

Скорость колебаний, по определению, является первой производной смещения по времени: $v(t) = (x)'_t = v_0 \cdot \cos(\omega t + \varphi_0)$

$v_0 = x_0\omega$ — амплитуда скорости.

Ускорение определяется второй производной: $a(t) = (x)''_{t^2} = -a_0 \sin(\omega t + \varphi_0)$

$a_0 = x_0\omega^2$ — амплитуда ускорения.

$a(t) = \omega^2 x(t)$.

Динамическое описание.

Если II закон Ньютона имеет вид $\underline{ma_x(t) = -kx(t)}$,

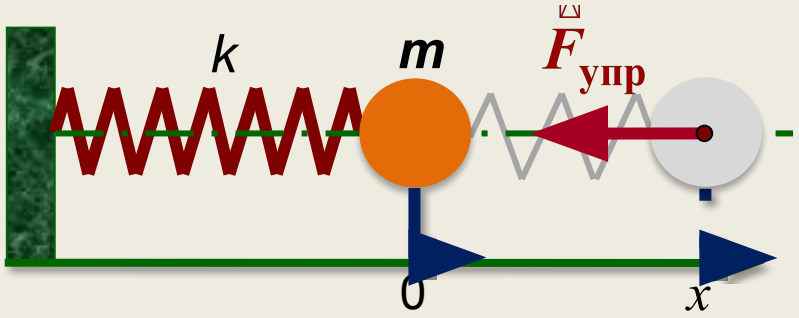
то, движение является гармоническим колебанием $x(t) = x_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$

с циклической частотой $\underline{\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}}$ и периодом $\underline{T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}}$.

В.П. Сафронов 2015. safron-47@mail.ru т. 8 928 111 7884

Пружинный маятник.

КОЛЕБАНИЯ МАЯТНИКОВ



Груз массой m на пружине жесткостью k, совершает колебания под действием возвращающей силы упругости (рис).

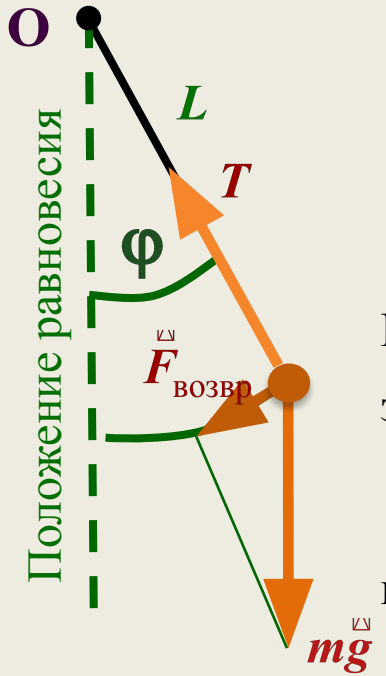
По закону Гука $F_{упр} = -kx.$

По второму закону Ньютона $m \cdot a = F_{упр} \Rightarrow \underline{m \cdot a = -kx} \Rightarrow$

значит, колебания пружинного маятника происходят по гармоническому закону

$x(t) = x_0 \sin(\omega_0 t),$ с собственной циклической частотой $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$

и периодом $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}.$



Математический маятник — материальная точка массой m, подвешенная на невесомой нерастяжимой нити длиной L.

Колебания происходят под действием возвращающей силы

$$F_{возвр} = -mg\sin\varphi = -mg\frac{x}{L} = -\frac{mg}{L}x.$$

По второму закону Ньютона $m \cdot a = F_{возвр} \Rightarrow m \cdot a = -(mg/L) \cdot x \Rightarrow$

значит, колебания маятника происходят по гармоническому закону

$x(t) = x_0 \sin(\omega_0 t),$ с собственной циклической частотой $\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{L}}$

и периодом $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}.$

При движении с ускорением $T = 2\pi\sqrt{L/|g-a|}.$

В.П. Сафронов 2015. safron-47@mail.ru т. 8 928 111 7884

Превращение энергии при гармонических колебаниях

При свободных гармонических колебаниях выполнятся закон сохранения механической энергии: в любой точке траектории сумма кинетической и потенциальной энергий не меняется.

Например, для пружинного маятника:

$$U = \frac{kx^2}{2} = \frac{kx_0^2}{2}\sin^2(\omega t)$$ — потенциальная энергия в момент времени t.

$$K = \frac{mv^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2}\cdot\cos^2(\omega t) = \frac{m\omega^2 x_0^2}{2}\cdot\cos^2(\omega t)$$ — кинетическая энергия в момент времени t.

$$E = K + U = \frac{mv^2}{2} + \frac{kx^2}{2} = \frac{kx_0^2}{2}\left[\sin^2(\omega t) + \cos^2(\omega t)\right] = \frac{kx_0^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2} = const$$

Для математического маятника:

$$E = K + U = \frac{mv^2}{2} + mgh = mgH = \frac{mv_0^2}{2} = const$$

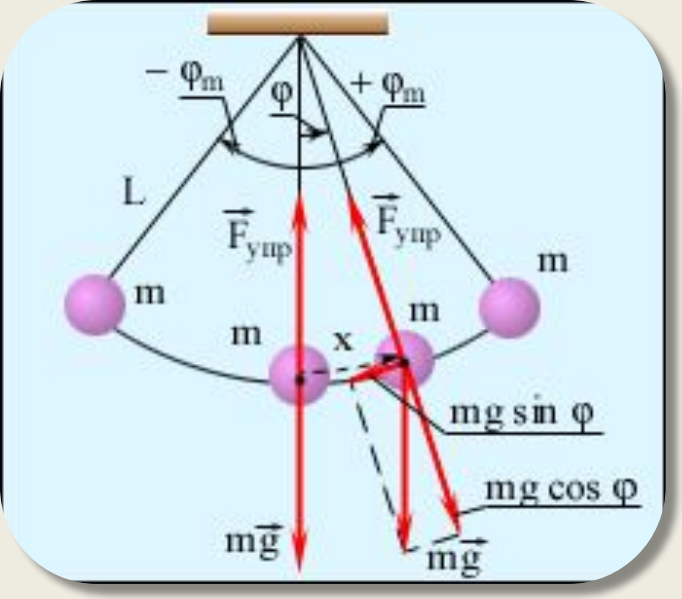
x_0, x — амплитуда и текущее значение смещения,

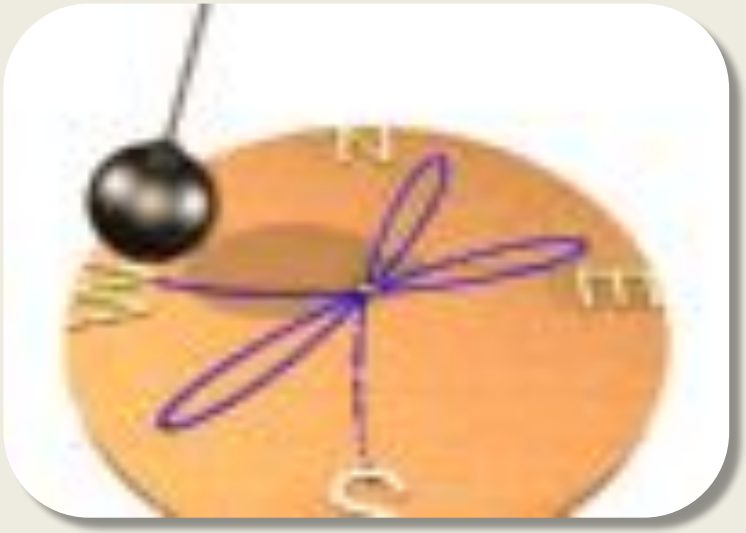
H, h — максимальная и текущая высота подъема материальной точки,

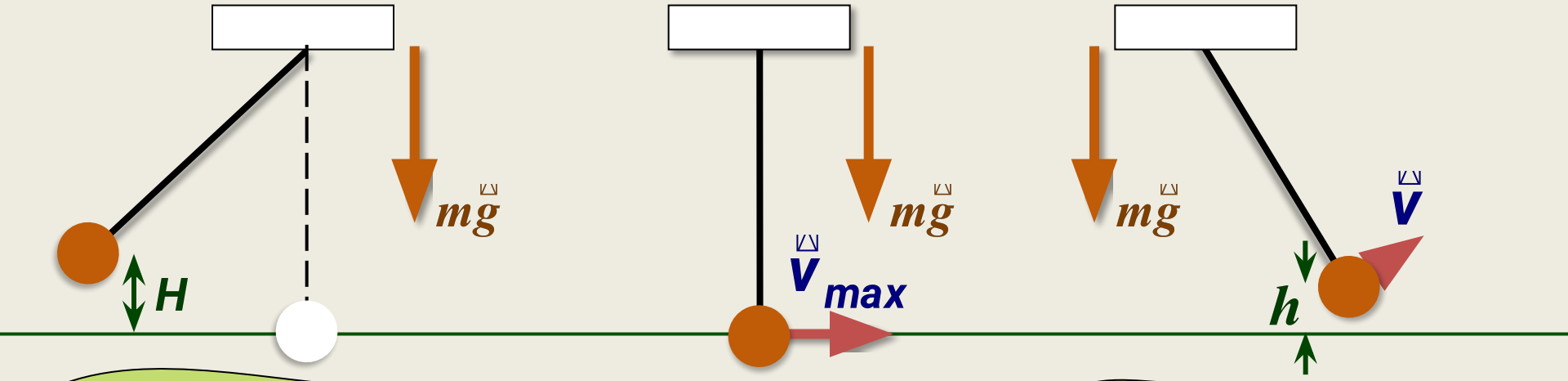
v_0, v — максимальная и текущая скорость материальной точки.

В.П. Сафронов 2015. safron-47@mail.ru т. 8 928 111 7884

ПРИМЕР







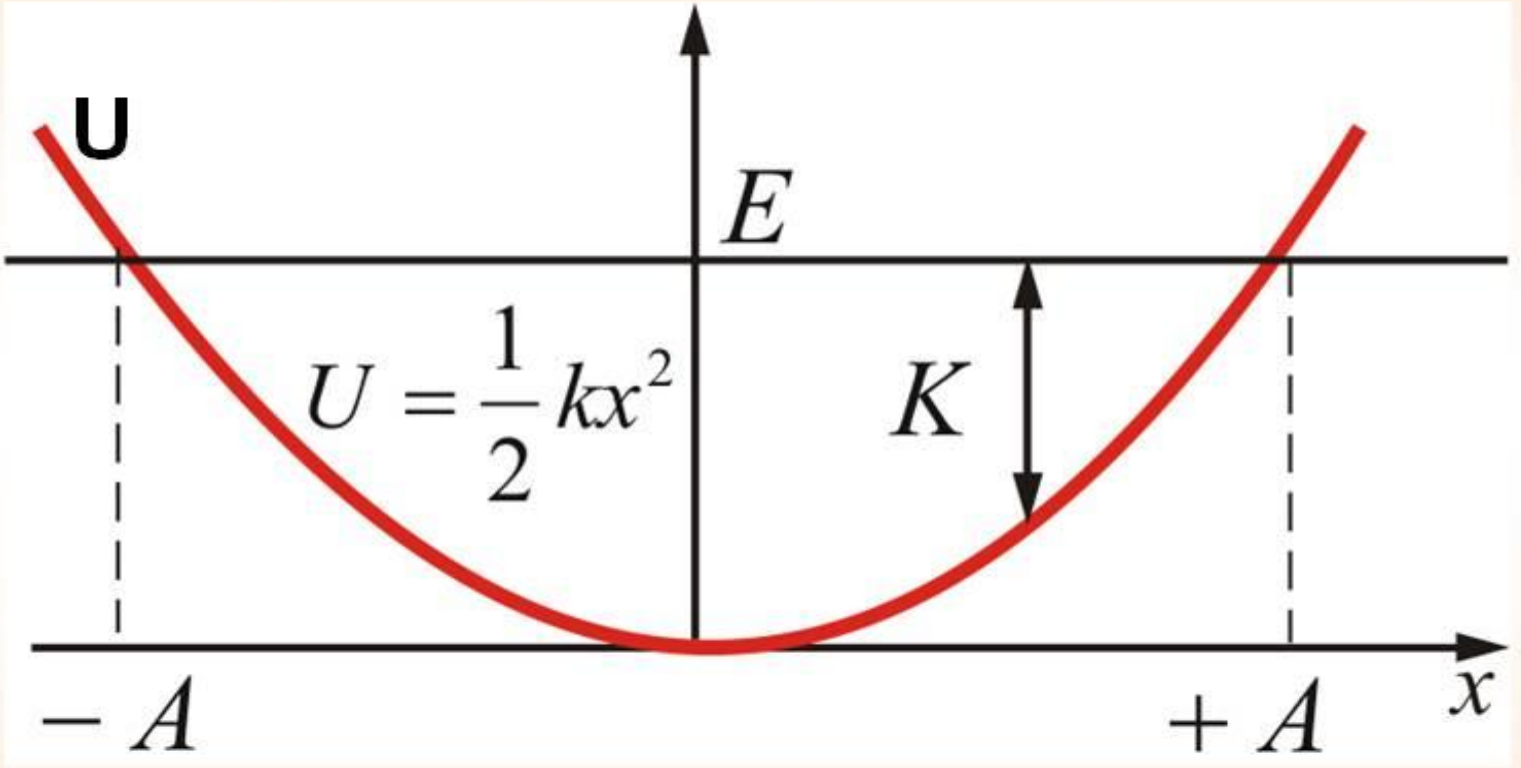
$$E = U_{max} = mgH = 5\,Дж$$

$$E = K_{max} = \frac{mv_{max}^2}{2} = 5\,Дж$$

$$E = K + U = \frac{mv^2}{2} + mgh = 3 + 2 = 5\,Дж$$

В.П. Сафронов 2015. safron-47@mail.ru т. 8 928 111 7884

На рисунке приведена зависимость потенциальной энергии U в зависимости от отклонения от положения равновесия



$$E = \frac{1}{2}kA^2.$$

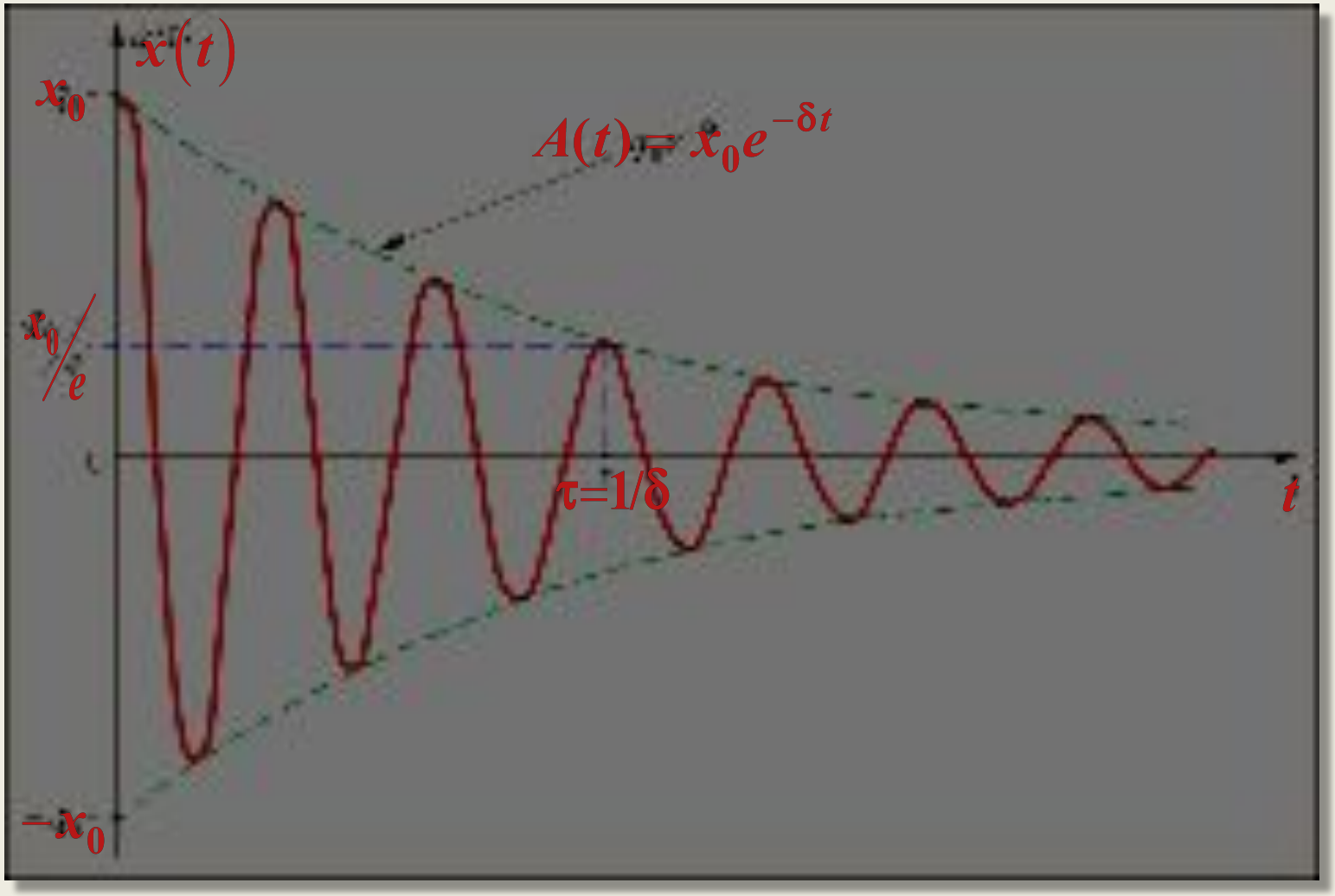
$$K = E - U$$

В.П. Сафронов 2015. safron-47@mail.ru т. 8 928 111 7884

Затухающие колебания

Свободными затухающими называются колебания, механическая энергия которых расходуется на работу против диссипативных сил (сил трения): $Q = A_{тр} = -\Delta E$.

Амплитуда колебаний уменьшается, колебания затухают.



В.П. Сафронов 2015. safron-47@mail.ru т. 8 928 111 7884

Вынужденные колебания

Вынужденные гармонические колебания происходят под действием внешней вынуждающей силы, которая меняется по гармоническому закону:

$$F(t) = F_0 \sin(\Omega t)$$

Ω — циклическая частота вынуждающей силы,

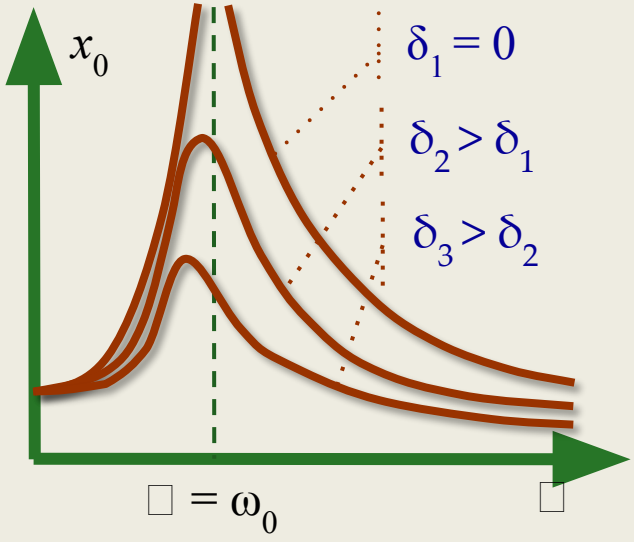
F_0 — максимальное значение (амплитуда) силы.

Кроме вынуждающей на систему действуют силы

$$F_{упр} = -kx \quad \text{и} \quad F_{тр} = -\alpha \cdot v.$$

Установившиеся колебания также являются гармоническими, причем совершаются с циклической частотой вынуждающей силы Ω.

Резонансные кривые



Резонанс — явление резкого возрастания амплитуды вынужденных колебаний при приближении циклической частоты вынуждающей силы Ω к собственной частоте системы ω_0 (рис.).

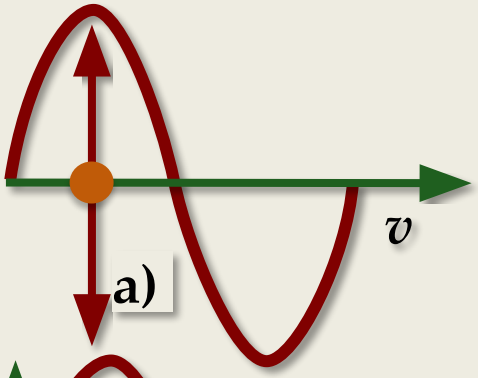
Амплитуда увеличивается до тех пор, пока работа сил трения не сравняется с работой внешней силы.

При отсутствии трения $\delta_1 = 0$ возрастание амплитуды неограниченно.

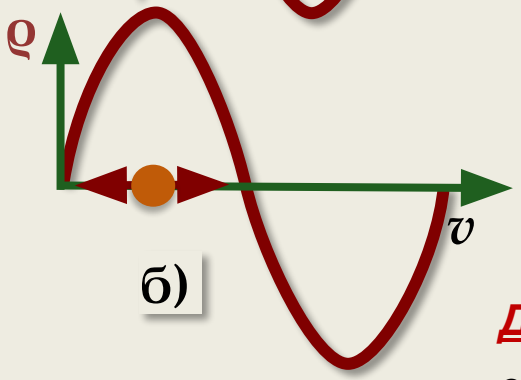
В.П. Сафронов 2015. safron-47@mail.ru т. 8 928 111 7884

УПРУГИЕ ВОЛНЫ

·***Распространение колебаний в упругих средах*** происходит за счет упругих волн. Упруго деформированный участок среды, возвращая начальную форму, деформирует соседние участки и т.д. Волны переносят энергию и импульс без переноса вещества.

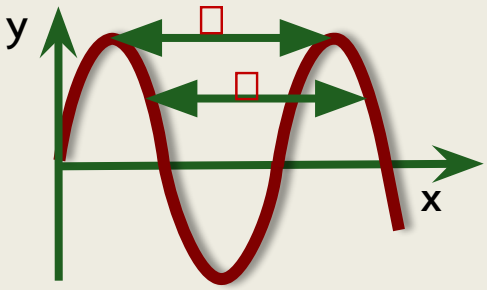


Поперечной называется волна, в которой частицы среды колеблются в направлении, перпендикулярном направлению распространения волны (наблюдаются только в твердых телах, рис. а).



Продольной называется волна, в которой колебание частиц происходит в направлении распространения волны, изменяя плотность среды (наблюдаются в газах, жидкостях и твердых телах, рис. б).

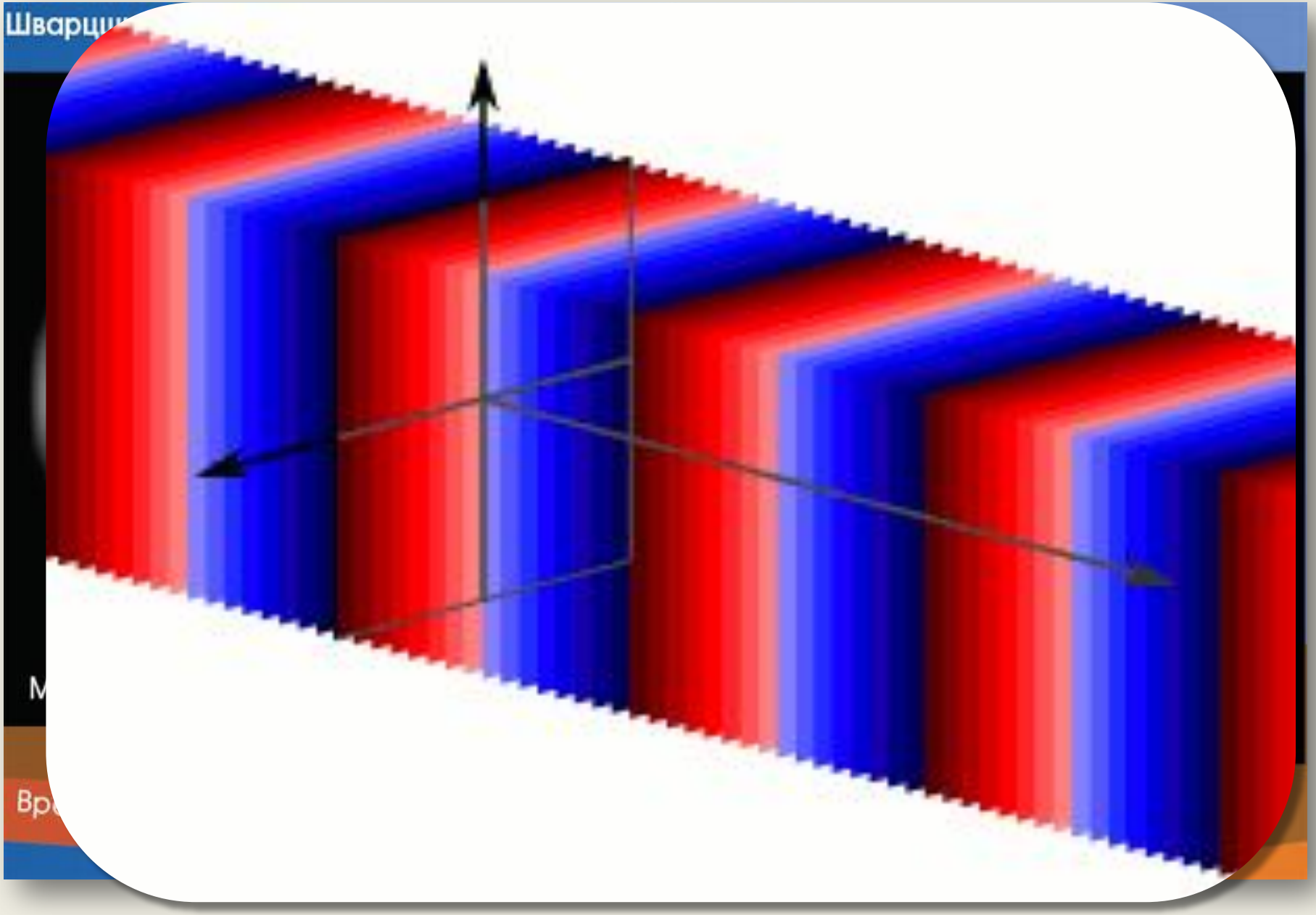
Длина волны ***λ***, м – расстояние между двумя ближайшими точками среды, которые колеблются в одинаковой фазе.



Волновой поверхностью (***фронт волны***) называется геометрическое место точек среды, которые колеблются в одной фазе. По форме фронта волны делятся на плоские, цилиндрические, сферические.

В.П. Сафронов 2015. safron-47@mail.ru т. 8 928 111 7884

Волны



Связь длины волны λ со скоростью ее распространения v

Длина волны равна расстоянию, которое проходит волна за время, равное периоду колебаний источника волн:

$$\lambda = c \cdot T; \quad \lambda \cdot \nu = c$$

Звуковые волны — упругие волны в слышимом диапазоне частот:

инфразвук, 16 Гц < слышимый диапазон < **20 000 Гц, ультразвук**.

Скорость звука

$$v_{воздух} = 330\ м/с; \quad v_{вода} = 1\,500\ м/с; \quad v_{сталь} = 5\,000\ м/с.$$

Громкость (сила) звука определяется квадратом амплитуды колебаний частицы среды.

Высота тона определяется частотой звуковых колебаний: чем больше частота, тем выше тон.

Дифракция — огибание волнами препятствий.

Интерференция — сложение двух или более когерентных (одинаковых по частоте) волн, в результате которого возникают устойчивые области усиления (max) и ослабления (min) колебаний.

В.П. Сафронов 2015. safron-47@mail.ru т. 8 928 111 7884

КОНЕЦ
МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

В.П. Сафронов 2015. safron-47@mail.ru т. 8 928 111 7884