



Механические колебания и волны

Механические колебания и ВОЛНЫ

- Механические колебания 
- Механические волны 

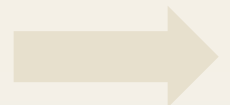
Колебания

Механические колебания – это движения, которые точно или приблизительно повторяются через определенные интервалы времени.



Виды колеба

- **Свободные** (происходят без воздействия внешних сил).
- **Вынужденные** (происходят под воздействием внешних периодически изменяющихся сил).













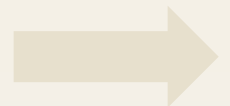
Условия возникновения колебаний

- Система должна находиться в устойчивом равновесии.
- Колеблющееся тело должно обладать достаточно большой инертностью.
- В системе должны быть достаточно малы силы сопротивления (трения).



Колебания

- **Виды равновесия** 
- **Колебательные системы** 
- **Характеристики колебаний** 
- **Резонанс** 
- **Расстояние, пройденное колеблющимся телом за время t** 
- **Уравнение колебаний** 
- **Решение уравнения колебаний** 
- **График** 
- **Гармонические колебания** 
- **Затухающие колебания** 

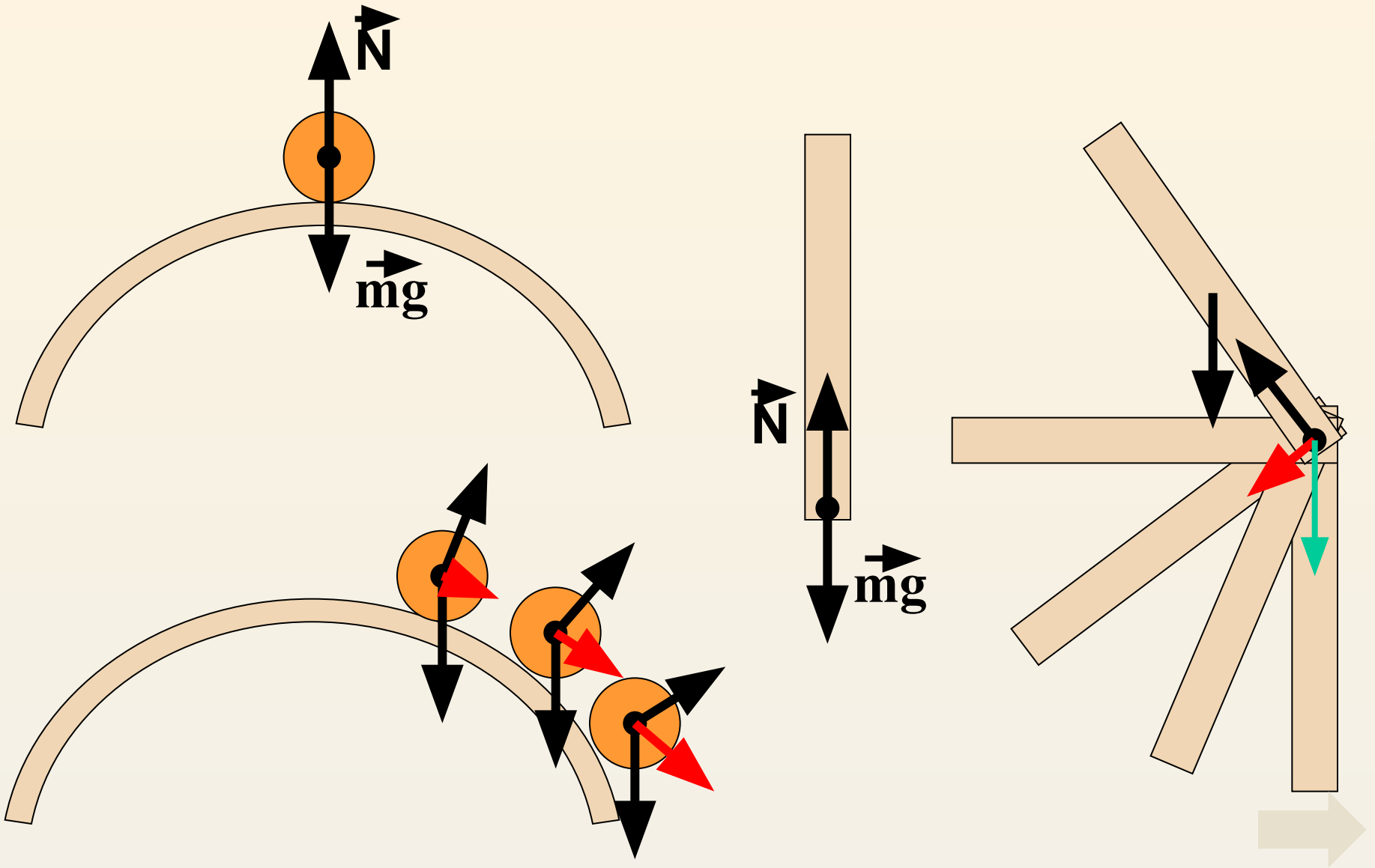


Виды равновесия

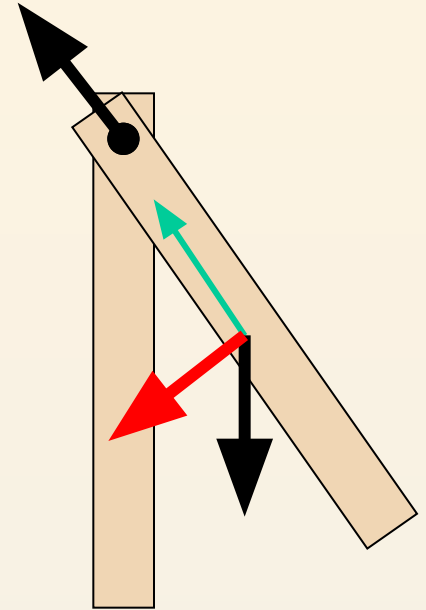
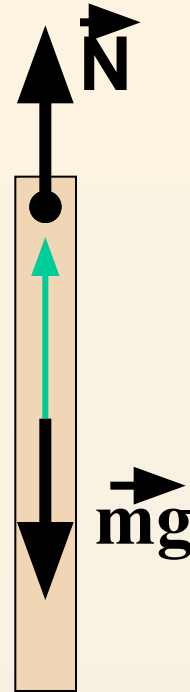
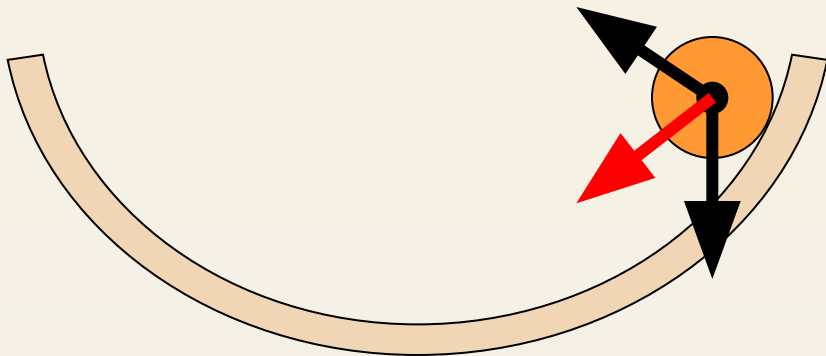
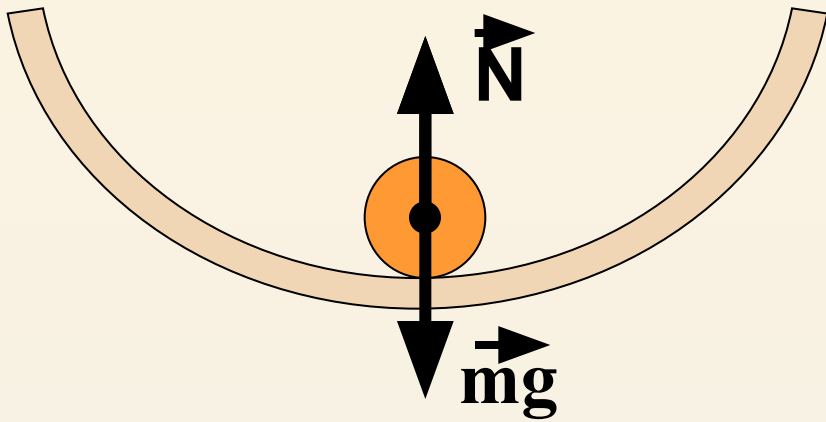
- Неустойчивое
- Устойчивое
- Безразличное



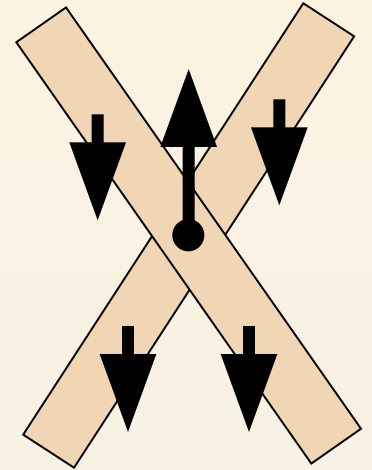
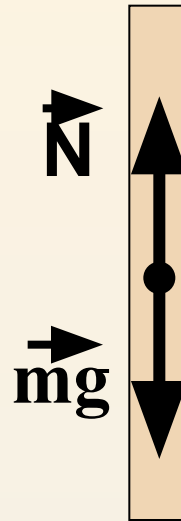
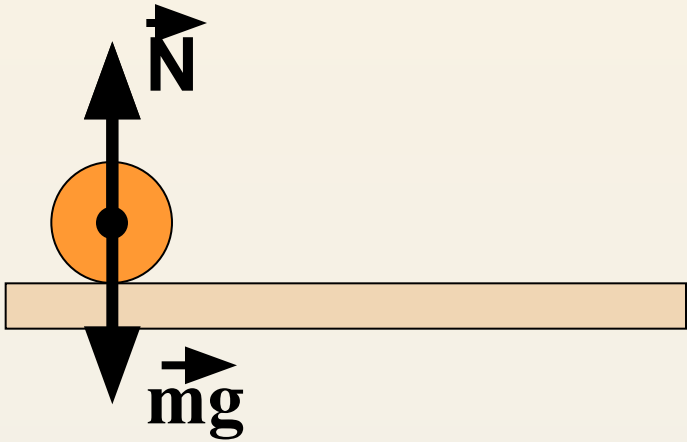
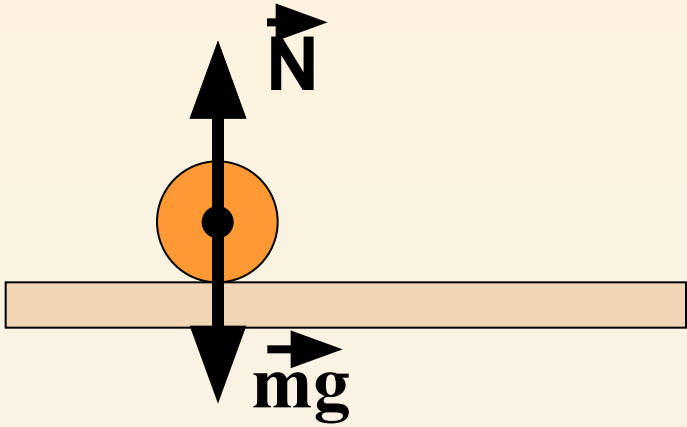
Неустойчивое равновесие



Устойчивое равновесие





Безразличное равновесие



Колебательные системы

Колебательная система – это система, в которой могут происходить свободные колебания. (Маятник).

- Пружинный маятник 
- Математический (нитяной) маятник. 



Характеристики колебаний

- **Амплитуда** – наибольшее отклонение колеблющейся частицы от положения равновесия.

$$A = x_{\max}$$

$$[A] = m$$

- **Период** – время, за которое происходит одно полное колебание.

$$[T] = c$$

- (Период зависит от параметров колебательной системы.)



Характеристики колебаний

- **Частота** – величина, показывающая сколько колебаний происходит за единицу времени.

(Частота – величина обратная периоду.)

Частота свободных колебаний системы – **собственная частота**.

$$\nu = \frac{1}{T} \quad [\nu] = \text{Гц} \quad 1\text{Гц} = \frac{1}{1\text{с}}$$

- **Фаза колебаний** – величина, позволяющая определить состояние колеблющейся системы в данный момент времени.

$$\varphi = [\text{рад}]$$



Фаза колебаний



**Колебания
происходят в
одинаковых
фазах.**

$$\Delta\varphi = 0$$



**Колебания
происходят в
противоположных
фазах.**

$$\Delta\varphi = \pi$$

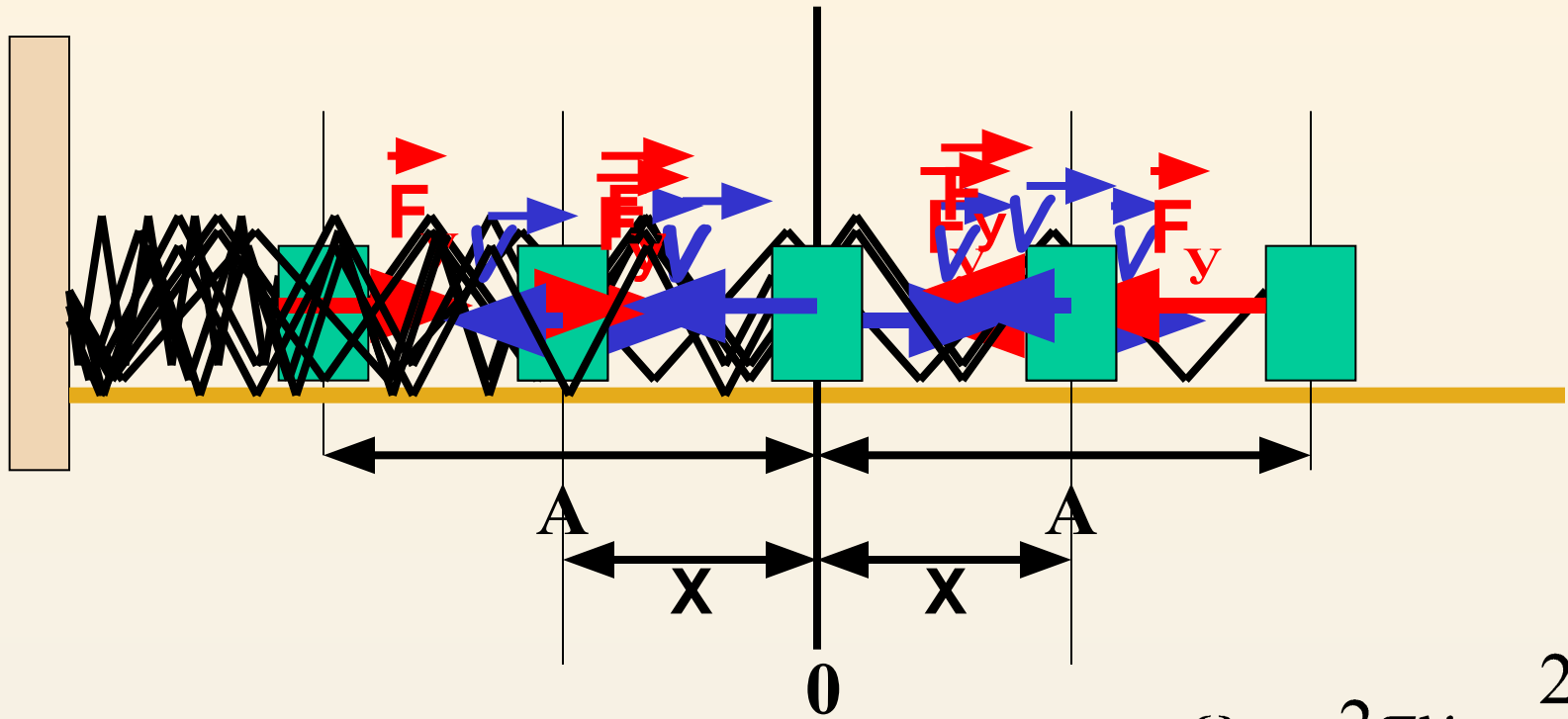


**Колебания
происходят в
различных
фазах.**

$$\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$$



Пружинный маятник.



$$\omega_0 = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$$


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

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

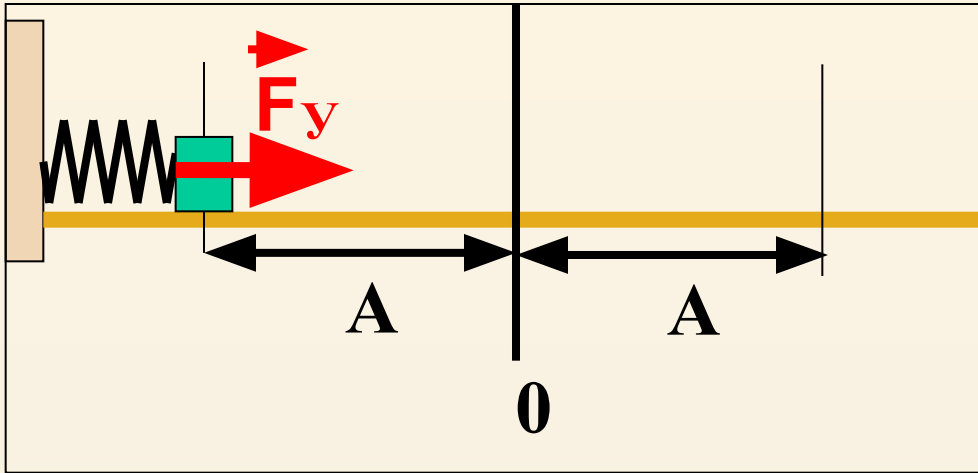


Пружинный маятник

<i>время</i>	<i>рисунок</i>	<i>координата, скорость, ускорение</i>	<i>причина изменения скорости</i>	<i>энергия</i>
t=0				
0<t<1/4T				
1/4T				
1/4T<t<1/2T				
1/2T				
1/2T<t<3/4T				
3/4T				
3/4T<t<T				
T				

Пружинный маятник

$t=0$



$$x = x_{\max} = A$$

$$F_y = F_{y\max} = kA$$

$$v = 0$$

$$a = a_{\max} = \frac{F_{y\max}}{m} = \frac{kA}{m} = \omega_0^2 A$$

$$E_k = 0$$

$$E_n = \frac{kA^2}{2}$$

$$E_{\text{полн}} = E_k + E_n$$

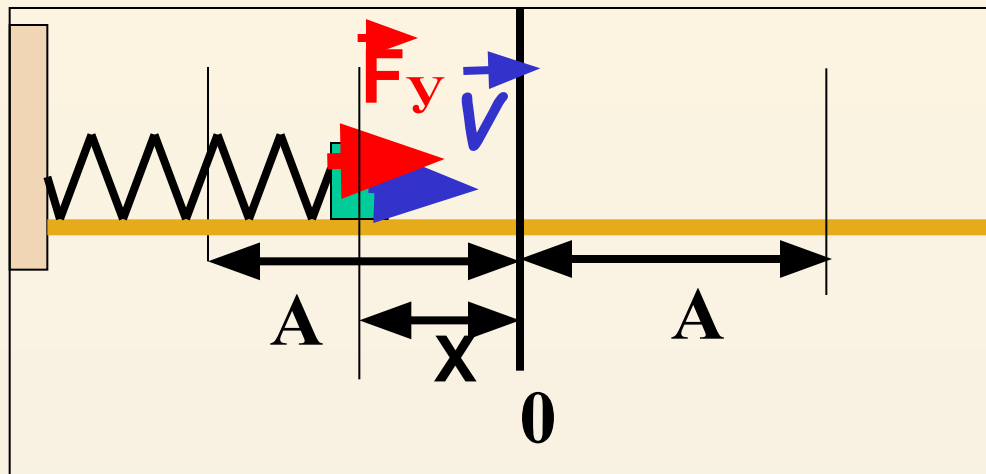
$$E_{\text{полн}} = \frac{kA^2}{2}$$

Скорость начинает возрастать под действием силы упругости.



Пружинный маятник

$$0 < t < T/4$$



$$x < x_{\max}$$

$$F_y = kx$$

$$v \neq 0$$

$$a = \frac{kx}{m} = \omega_0^2 x$$

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

$$E_n = \frac{kx^2}{2}$$

$$E_{\text{полн}} = E_k + E_n$$

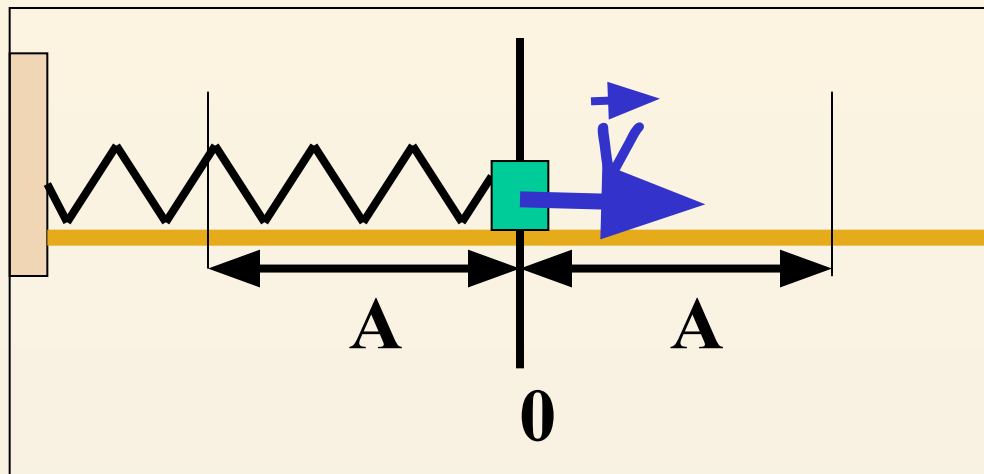
$$E_{\text{полн}} = \frac{kx^2}{2} + \frac{mv^2}{2}$$

Скорость продолжает возрастать под действием силы упругости.



Пружинный маятник

$t = T/4$



$$x = 0$$

$$F_y = 0$$

$$v = v_{\max}$$

$$a = 0$$

$$E_k = \frac{mv_{\max}^2}{2}$$

$$E_n = 0$$

$$E_{\text{полн}} = E_k + E_n$$

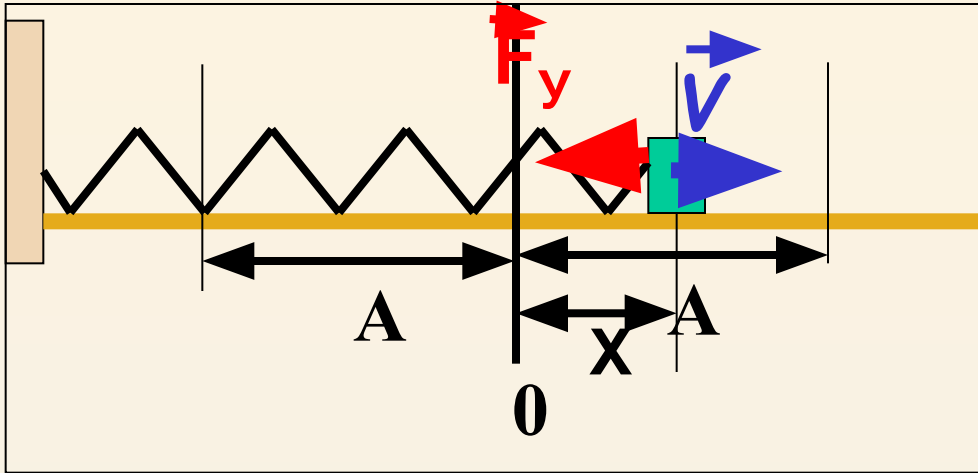
$$E_{\text{полн}} = \frac{mv_{\max}^2}{2}$$

Скорость достигает максимального значения, движение происходит вследствие инертности тела.



Пружинный маятник

$T/4 < t < T/2$



$$x < x_{\max}$$

$$F_y = kx$$

$$v \neq 0$$

$$a = \frac{kx}{m} = \omega_0^2 x$$

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

$$E_n = \frac{kx^2}{2}$$

$$E_{\text{полн}} = E_k + E_n$$

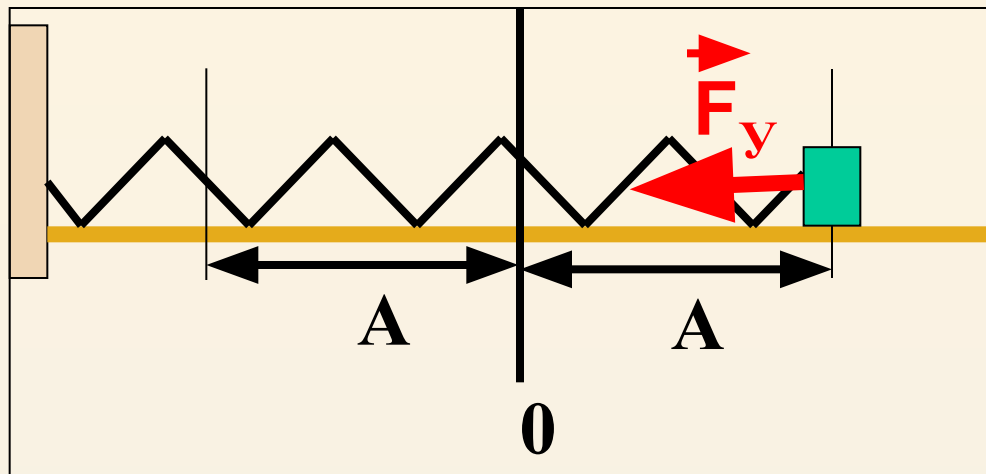
$$E_{\text{полн}} = \frac{kx^2}{2} + \frac{mv^2}{2}$$

Скорость меняет свое направление и увеличивается под действием силы упругости.



Пружинный маятник

$t = T/2$



$$x = x_{\max} = A$$

$$F_y = F_{y\max} = kA$$

$$v = 0$$

$$a = a_{\max} = \frac{F_{y\max}}{m} = \frac{kA}{m} = \omega_0^2 A$$

$$E_k = 0$$

$$E_n = \frac{kA^2}{2}$$

$$E_{\text{полн}} = E_k + E_n$$

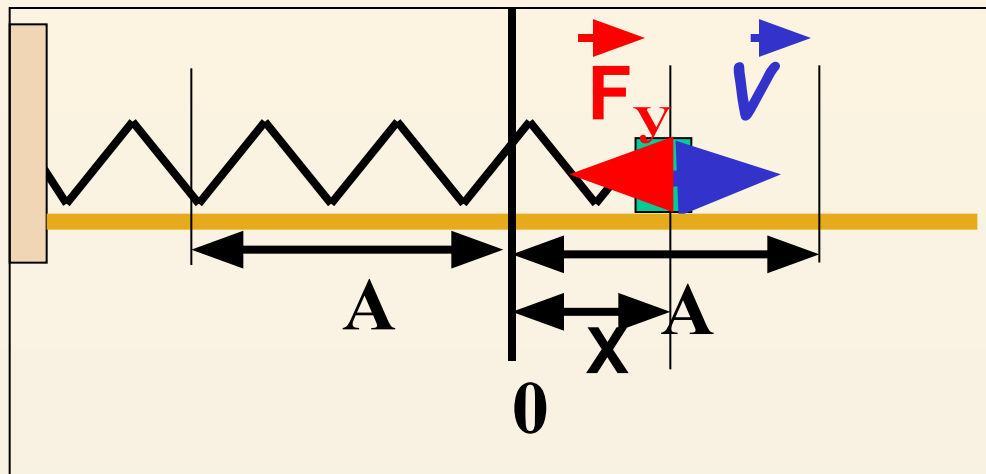
$$E_{\text{полн}} = \frac{kA^2}{2}$$

Тело останавливается.



Пружинный маятник

$$T/2 < t < 3T/4$$



$$x < x_{\max}$$

$$F_y = kx$$

$$v \neq 0$$

$$a = \frac{kx}{m} = \omega_0^2 x$$

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

$$E_n = \frac{kx^2}{2}$$

$$E_{\text{полн}} = E_k + E_n$$

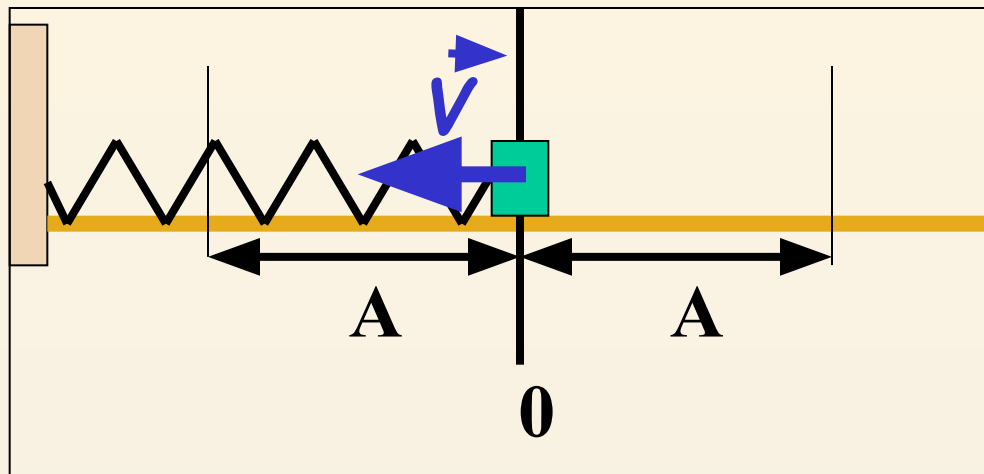
$$E_{\text{полн}} = \frac{kx^2}{2} + \frac{mv^2}{2}$$

Скорость уменьшается
под действием силы
упругости.



Пружинный маятник

$t=3T/4$



$$x = 0$$

$$F_y = 0$$

$$v = v_{\max}$$

$$a = 0$$

$$E_k = \frac{mv_{\max}^2}{2}$$

$$E_n = 0$$

$$E_{\text{полн}} = E_k + E_n$$

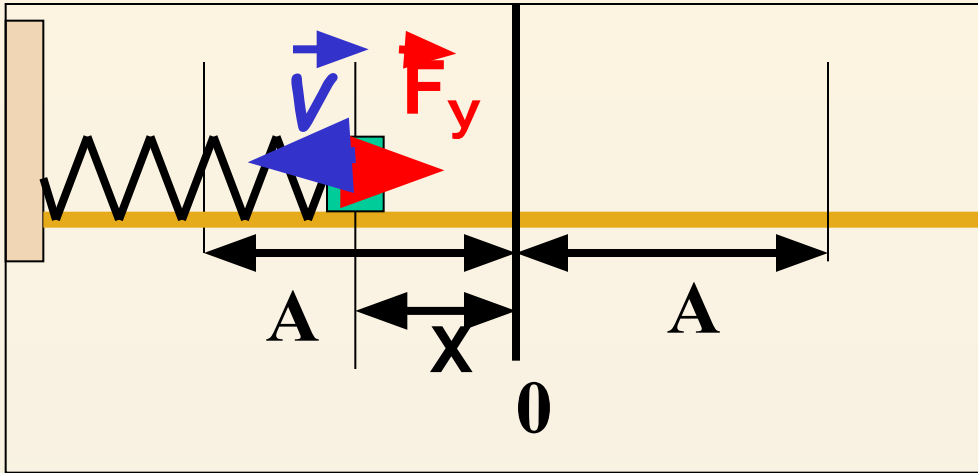
$$E_{\text{полн}} = \frac{mv_{\max}^2}{2}$$

Скорость тела достигает своего максимального значения, движение происходит вследствие инертности тела.



Пружинный маятник

$$3T/4 < t < T$$



$$x < x_{\max}$$

$$F_y = kx$$

$$v \neq 0$$

$$a = \frac{kx}{m} = \omega_0^2 x$$

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

$$E_n = \frac{kx^2}{2}$$

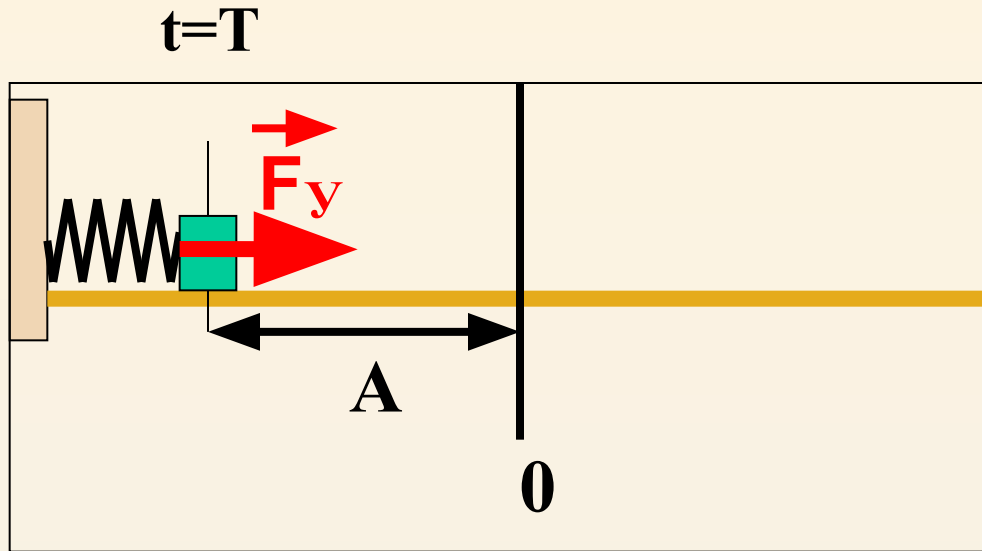
$$E_{\text{полн}} = E_k + E_n$$

$$E_{\text{полн}} = \frac{kx^2}{2} + \frac{mv^2}{2}$$

**Скорость тела
уменьшается под
действием силы
упругости.**



Пружинный маятник



$$x = x_{\max} = A$$

$$F_y = F_{y\max} = kA$$

$$v = 0$$

$$a = a_{\max} = \frac{F_{y\max}}{m} = \frac{kA}{m} = \omega_0^2 A$$

$$E_k = 0$$

$$E_n = \frac{kA^2}{2}$$

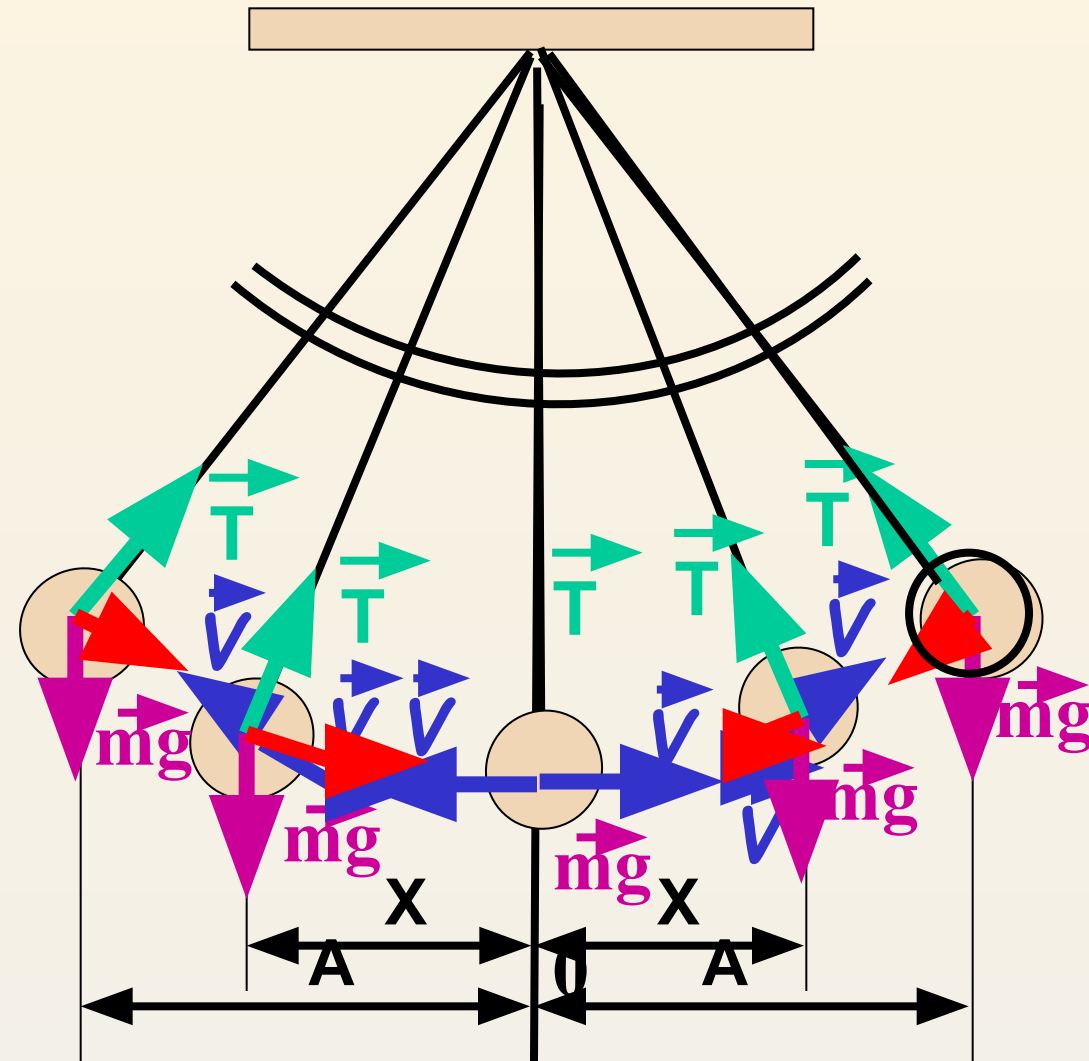
$$E_{\text{полн}} = E_k + E_n$$

$$E_{\text{полн}} = \frac{kA^2}{2}$$

Тело останавливается.



Математический (нитяной) маятник



$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

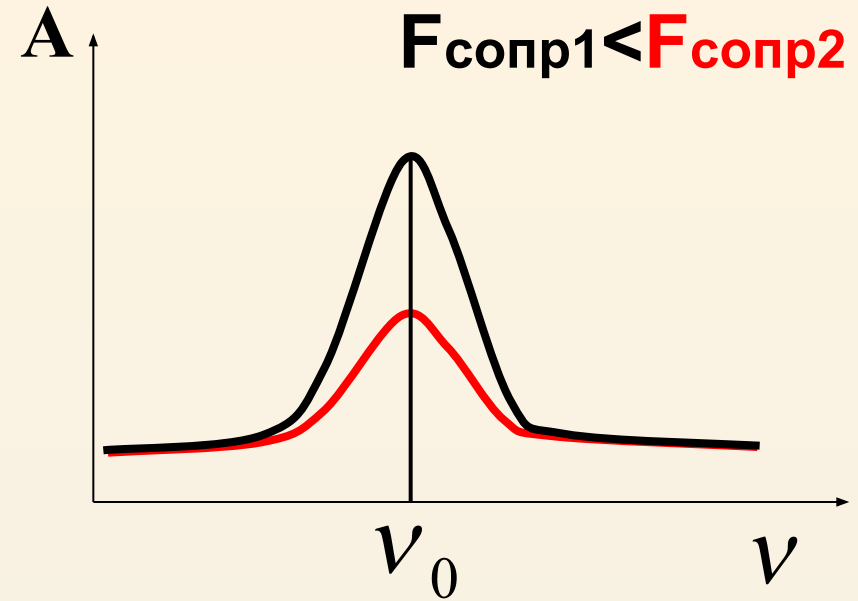
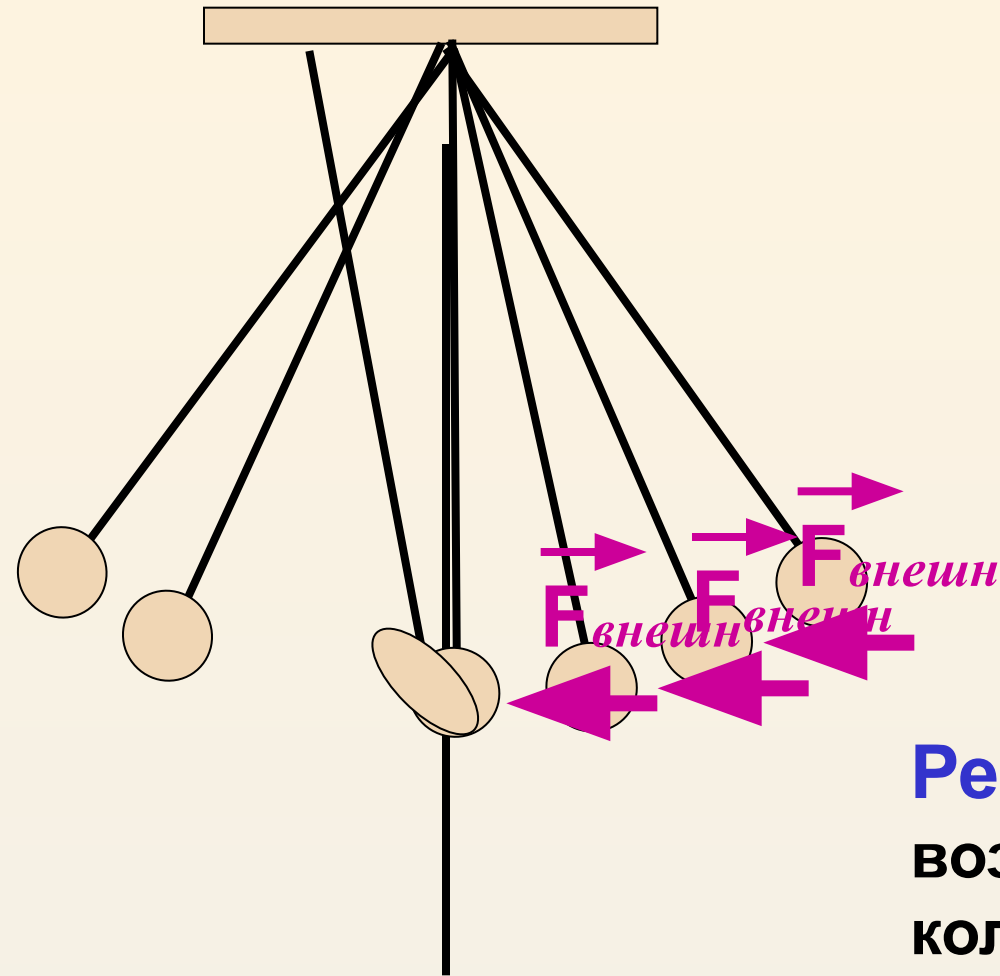
$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$$

$$\omega_0 = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}$$



Резонанс



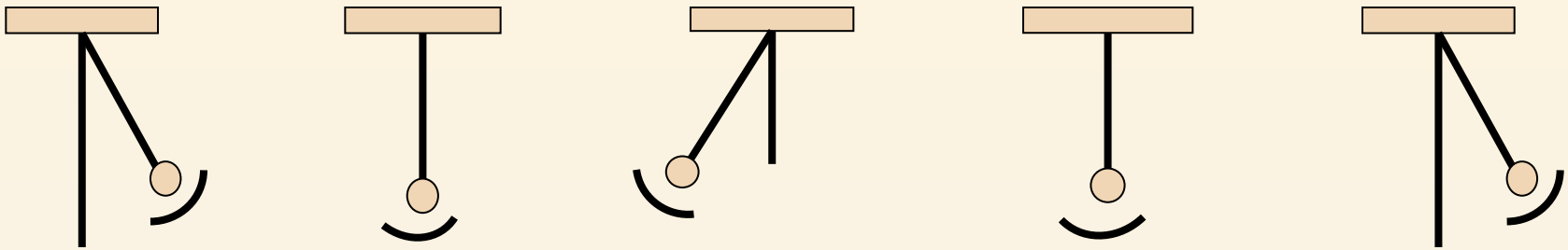
Резонанс – явление резкого возрастания амплитуды колебаний при совпадении частоты внешней силы и собственной частоты колебаний системы.



**Расстояние,
пройденное
колеблющимся
телом за время t**



Расстояние, пройденное колеблющимся телом за время t



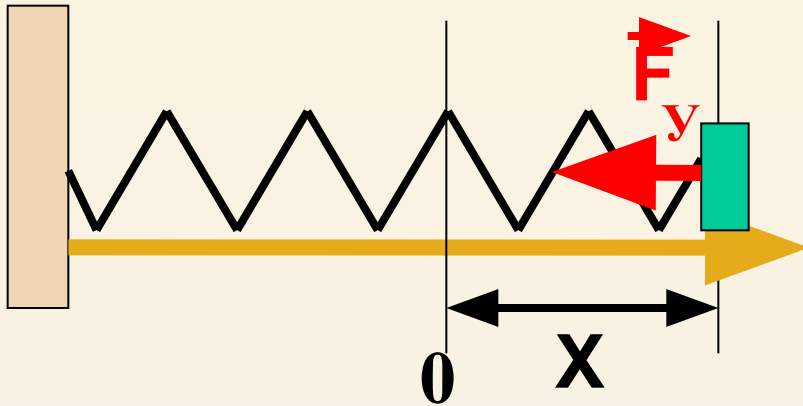
За промежуток времени, равный периоду колебаний колеблющееся тело проходит расстояние равное $4A$.

$$\frac{4A}{T} = \frac{S}{t}$$

S - расстояние, пройденное колеблющимся телом за время t .



Уравнение колебаний



$$a = \frac{F}{m}$$

$$F = -kx$$

$$a = -\frac{kx}{m}$$

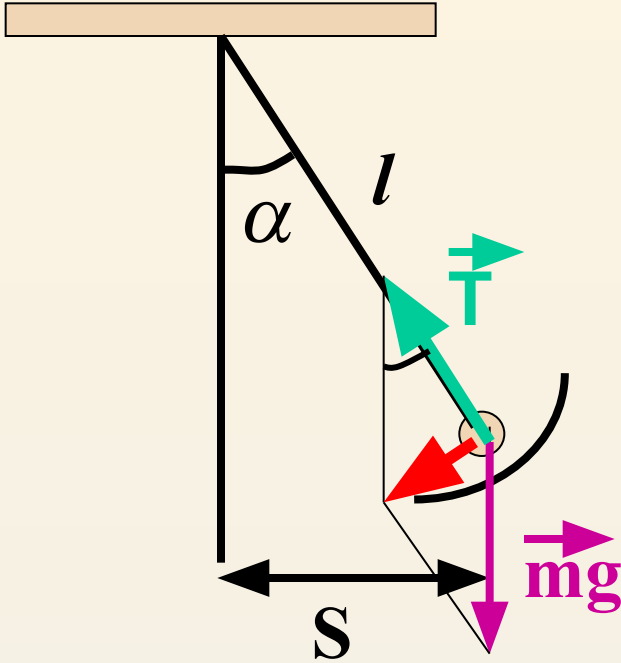
$$a = -\frac{k}{m}x$$

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

$$a = -\omega_0^2 x$$



Уравнение колебаний



$$a = \frac{F}{m}$$

$$F = -mg \sin \alpha \quad \text{tg} \alpha \approx \sin \alpha$$

$$a = -\frac{mg \sin \alpha}{m}$$

$$a = -\frac{g \sin \alpha}{m}$$

$$\sin \alpha = \frac{S}{l}$$

$$a = -g \frac{S}{l} = -\frac{g}{l} S$$

$$\frac{g}{l} = \omega_0^2$$

$$a = -\omega_0^2 S$$



Решение уравнения колебаний

$$x'' = -\omega_0^2 x$$

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

$$x' = -A\omega_0 \sin(\omega_0 t)$$

$$x'' = (x')' = -\omega_0^2 A \cos(\omega_0 t)$$

$$x' = v$$

$$v = -v_{\max} \sin(\omega_0 t)$$

$$v_{\max} = A\omega_0$$

$$x'' = (x')' = v' = a$$

$$a = -a_{\max} \cos(\omega_0 t)$$

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



Фаза колебаний

$$\cos \omega_0 t = \cos \varphi$$

$$\cos \omega_0 T = \cos 2\pi$$

$$\omega_0 T = 2\pi$$

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

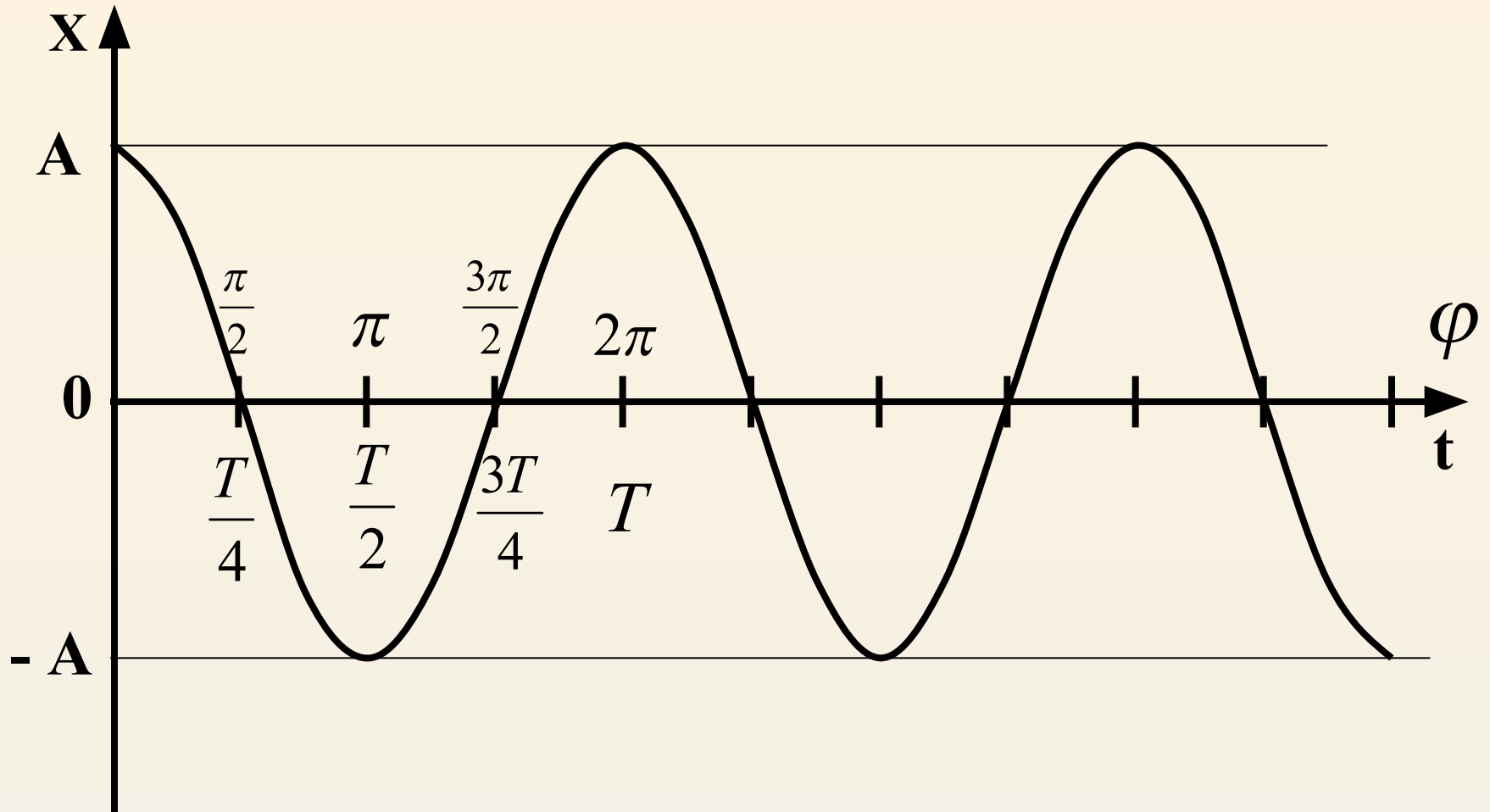
$$T = \frac{\omega_0}{2\pi}$$

$$\omega_0 = 2\pi\nu$$

$$\varphi = 2\pi t$$



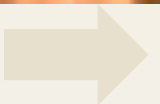
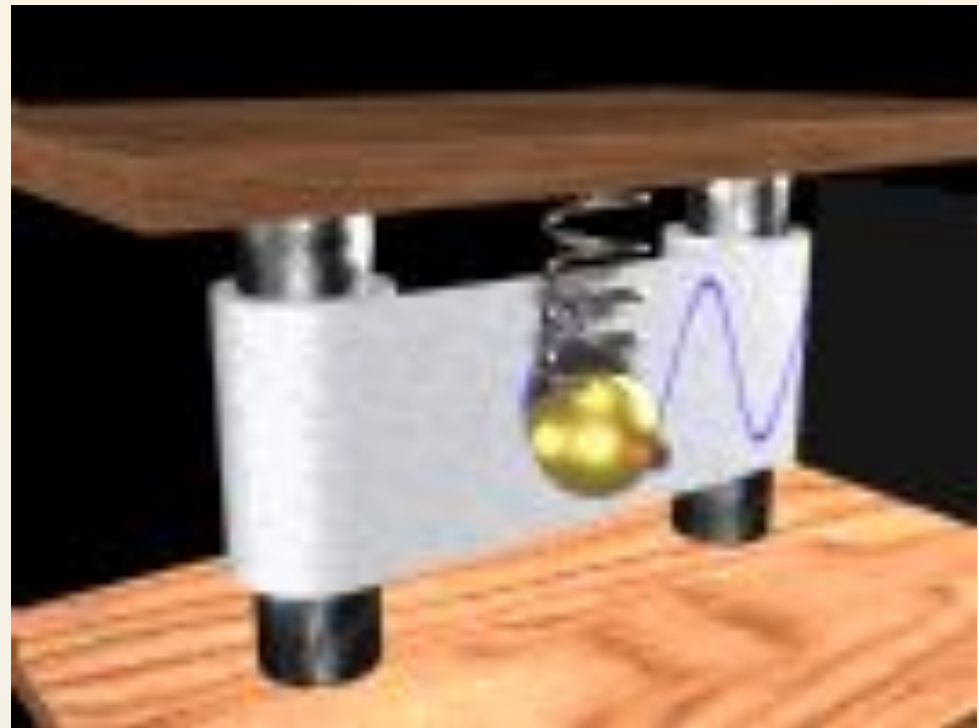
График колебаний



Гармонические колебания

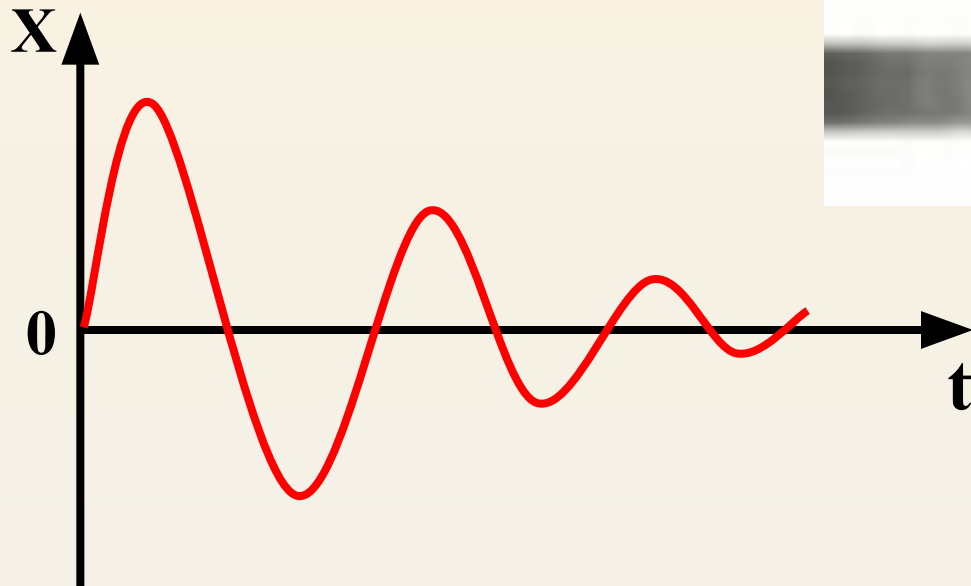
Гармонические колебания – колебания, которые происходят под действием силы пропорциональной смещению колеблющейся точки и направленной противоположно этому смещению.

Гармонические колебания – это колебания, которые происходят по закону синуса или косинуса.










Затухающие колебания

Причина затухания колебаний – силы сопротивления.



Волны

- **Определение волны** 
- **Поперечные волны** 
- **Продольные волны** 
- **Характеристики волны** 
- **График волны** 
- **Уравнение бегущей волны** 
- **Звуковые волны** 

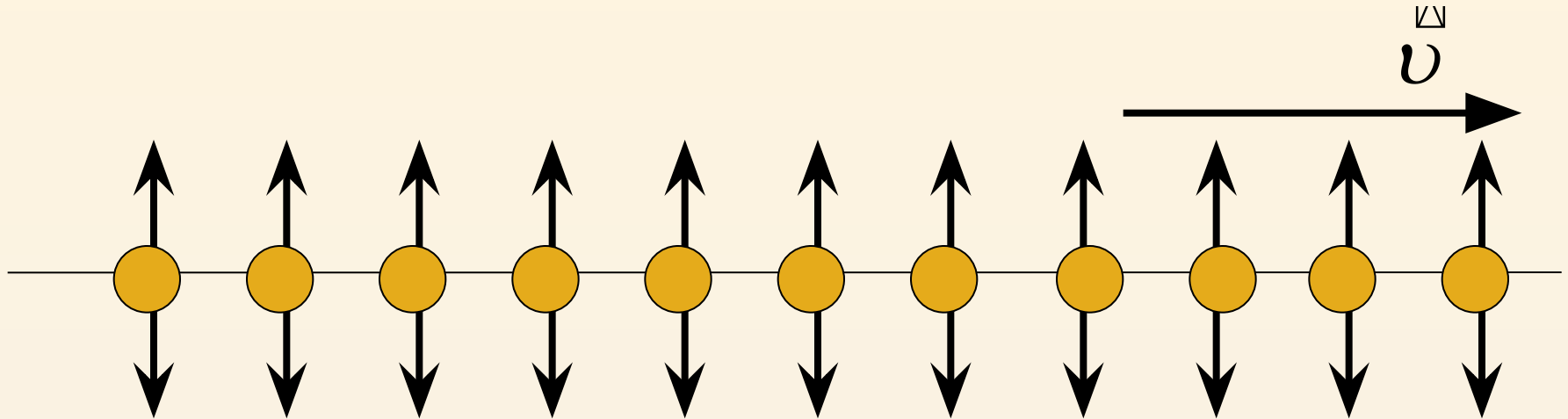


Волны

- **Волна** – это колебания, распространяющиеся в пространстве с течением времени.
- При распространении волны не происходит распространение частиц, а происходит распространение состояния среды. (Волна не переносит вещество, но переносит энергию).
- Распространение волны происходит с конечной скоростью.



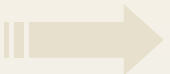
Волны



Поперечная волна – это волна, в которой колебания происходят перпендикулярно направлению распространения волны. Поперечные волны могут распространяться в твердых телах и на границе двух сред.



Поперечная волна

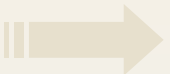


Волны

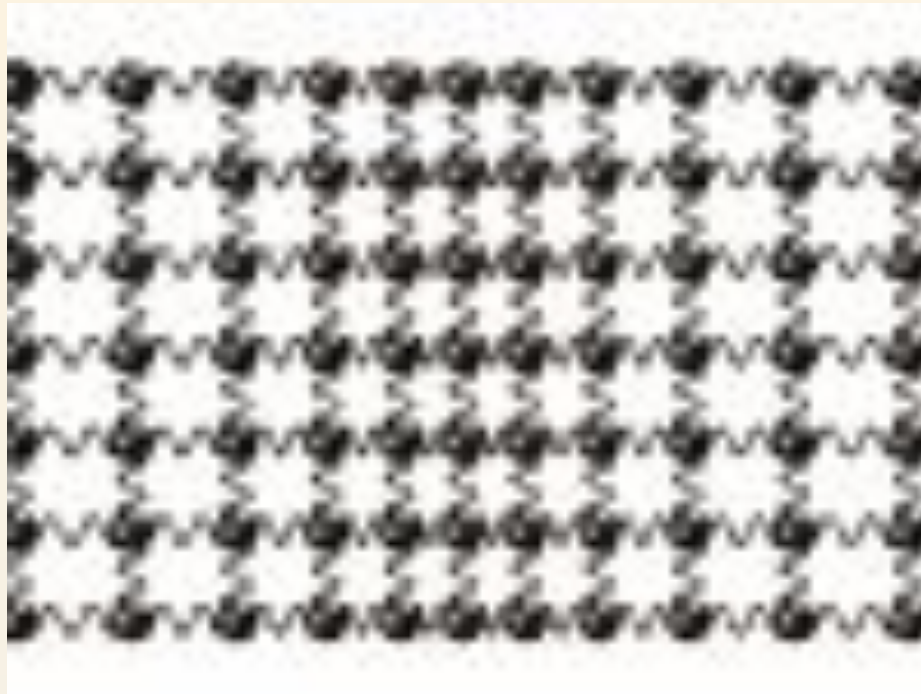


Продольная волна – это волна, в которой колебания происходят вдоль направления распространения волны.

Продольные волны могут распространяться в газах, жидкостях и твердых телах.



Продольная волна



Смешанная волна



Характеристики волны

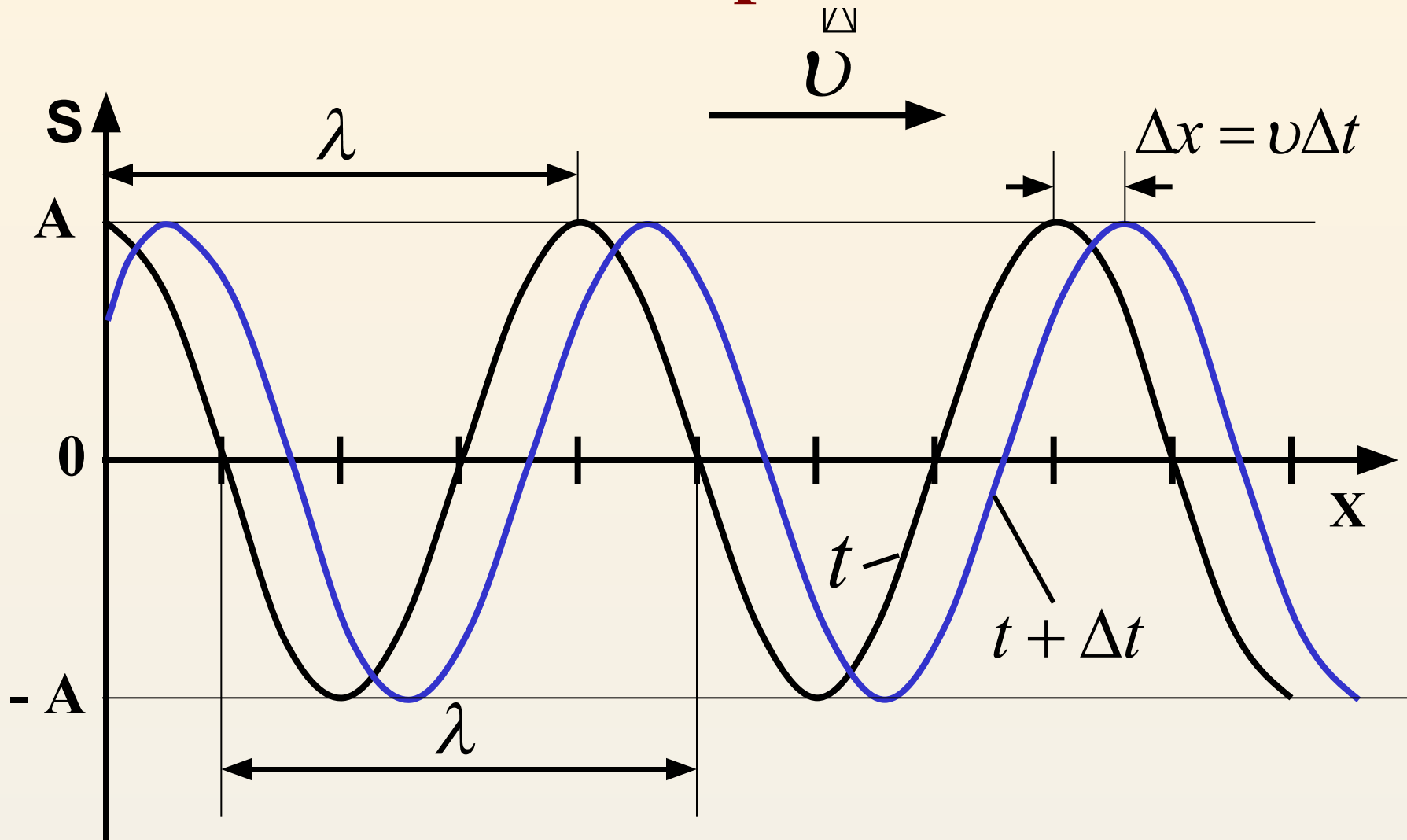
- **Амплитуда** – максимальное отклонение частиц от положения равновесия.
- **Длина волны** – расстояние между двумя ближайшими точками, совершающими колебания в одной фазе.
- **Период волны** – равен периоду колебаний источника волны. (За время равное периоду волна проходит расстояние, равное своей длине).
- **Частота волны** – величина обратная периоду.
- **Фаза** – величина, характеризующая состояние среды в данной точке.

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

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



Профиль волны в определенный момент времени



Уравнение бегущей волны

$$S = S(x, t)$$

$$S = S_m \cos \omega t$$

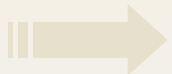
$$x = \Delta t v \Rightarrow \Delta t = \frac{x}{v}$$

$$S = S_m \cos[\omega(t - \Delta t)] = S_m \cos\left[\omega\left(t - \frac{x}{v}\right)\right]$$



Интерференция механических волн

Интерференция – это явление сложения волн в пространстве.



Звуковые волны



Звуковые волны – продольные механические волны, частота которых заключена в пределах от 17 Гц до 20000 Гц.

Скорость звука в воздухе при 0 °С равна 331 м/с.

характеристики звука	характеристики волны
громкость	амплитуда
высота	частота (период)
тембр	набор обертонов



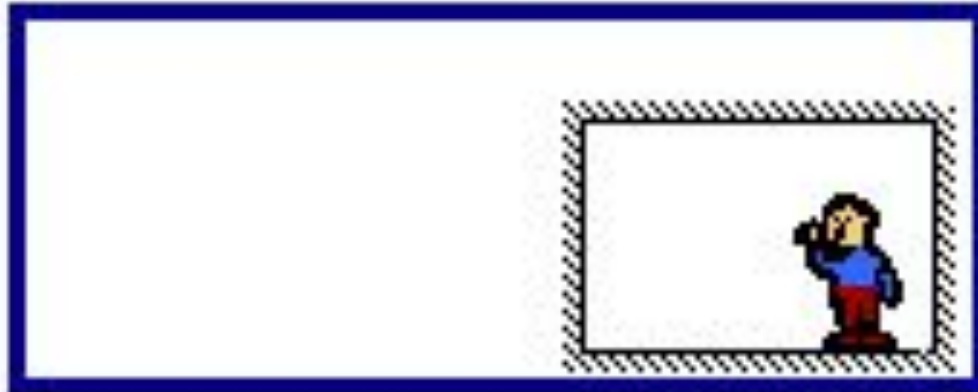
ЭХО



Реверберация



Reflection off a Nearby Wall



Time (s): 0.00

Reflection off a Distant Cliff

