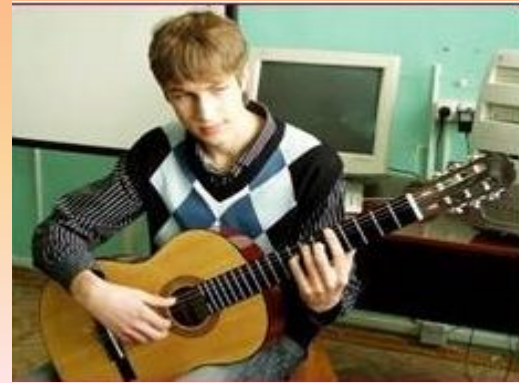


# Лекция 3

## Тема: Физика колебаний



## ***ЦЕЛИ ЗАНЯТИЯ:***

- 1. Ввести понятие механических колебаний, рассмотреть колебания на примере математического, пружинного и физического маятников.**
- 2. Воспитание мировоззренческого понятия (причинно – следственных связей в окружающем мире)**
- 3. Развитие самостоятельности мышления и интеллекта, развитие умения анализировать, обобщать, делать выводы, развитие логического мышления, грамотной устной речи, содержащей физическую терминологию.**

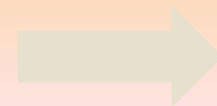
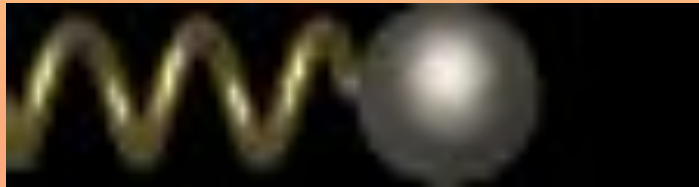
## ***ЗАДАЧИ ЗАНЯТИЯ:***

- Оценить усвоение основных понятий темы;**
- Проверить умение применять теорию для объяснения физических явлений;**
- Продолжить формирование элементов творческой деятельности.**

# ПЛАН:

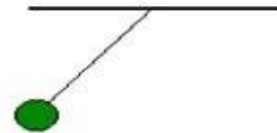
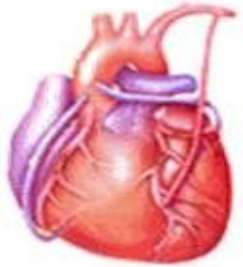
1. Гармонические колебания и их характеристики.
2. Затухающие и вынужденные колебания.
3. Гармонические осцилляторы.
4. Резонанс.
5. Механические волны.
6. Звуковые волны.

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



# Колебания:

Примеры колебательных движений:



1. Что общего в этих примерах?
2. Так что же такое колебания?
3. Выделите главный признак колебательного движения?

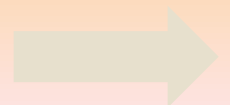
Простейшим типом колебаний являются *гармонические колебания* — колебания, при которых колеблющаяся величина изменяется со временем по закону синуса (косинуса).

*Две причины* рассмотрения гармонических колебаний:

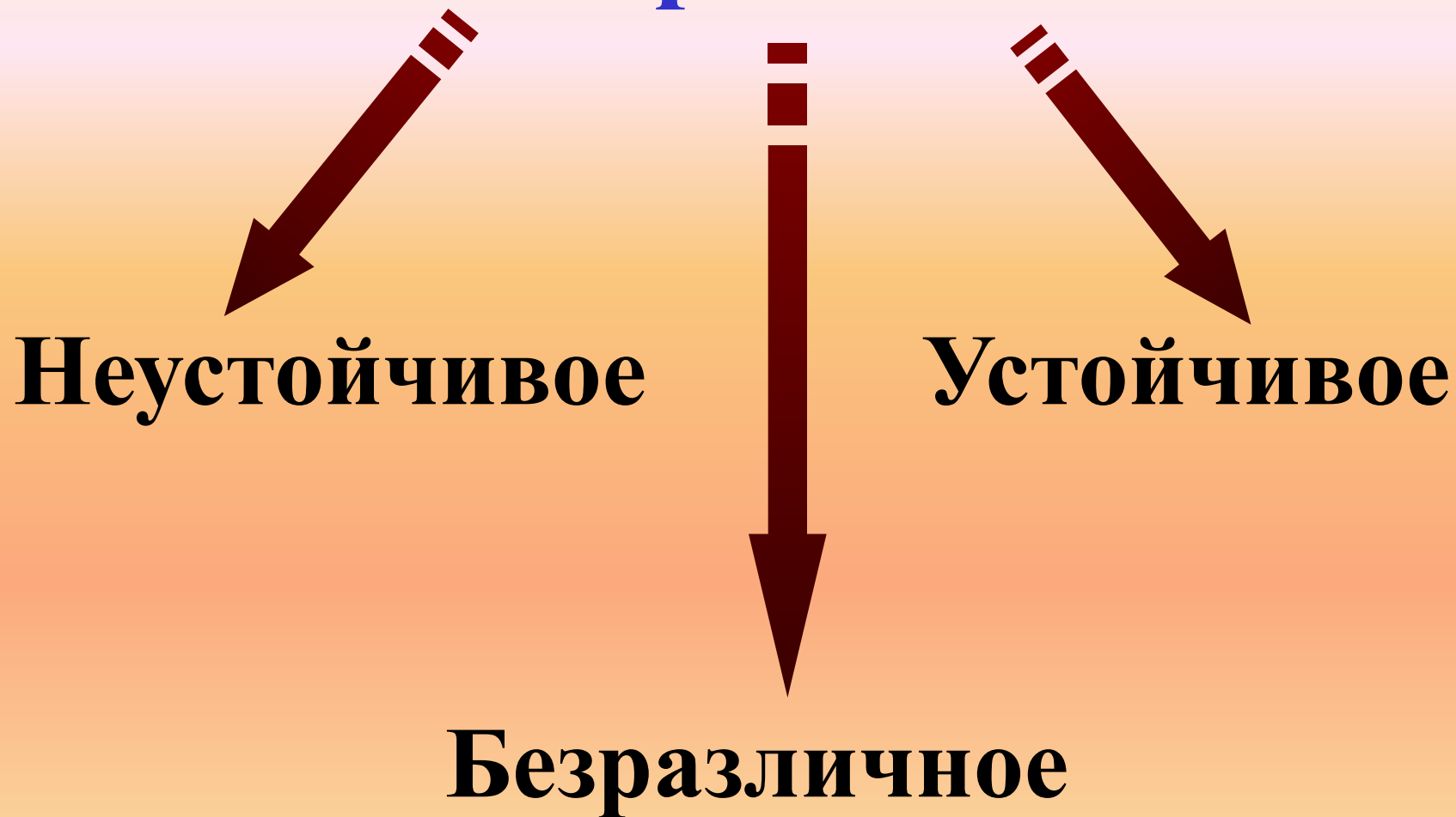
- 1) колебания, встречающиеся в природе и технике, часто имеют характер, близкий к гармоническому;
- 2) различные периодические процессы (процессы, повторяющиеся через равные промежутки времени) можно представить как наложение гармонических колебаний.

# 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).

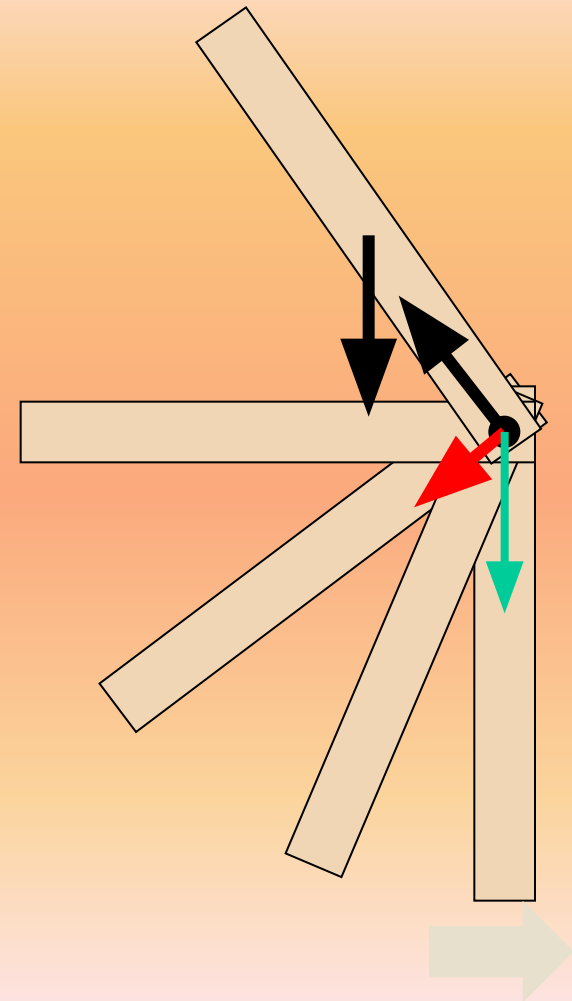
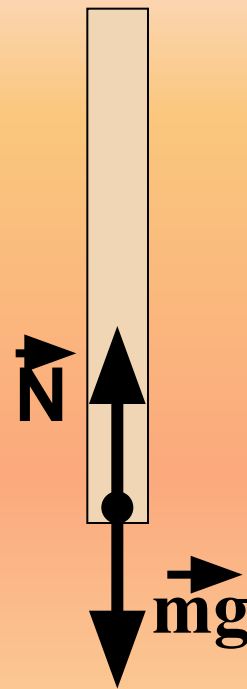
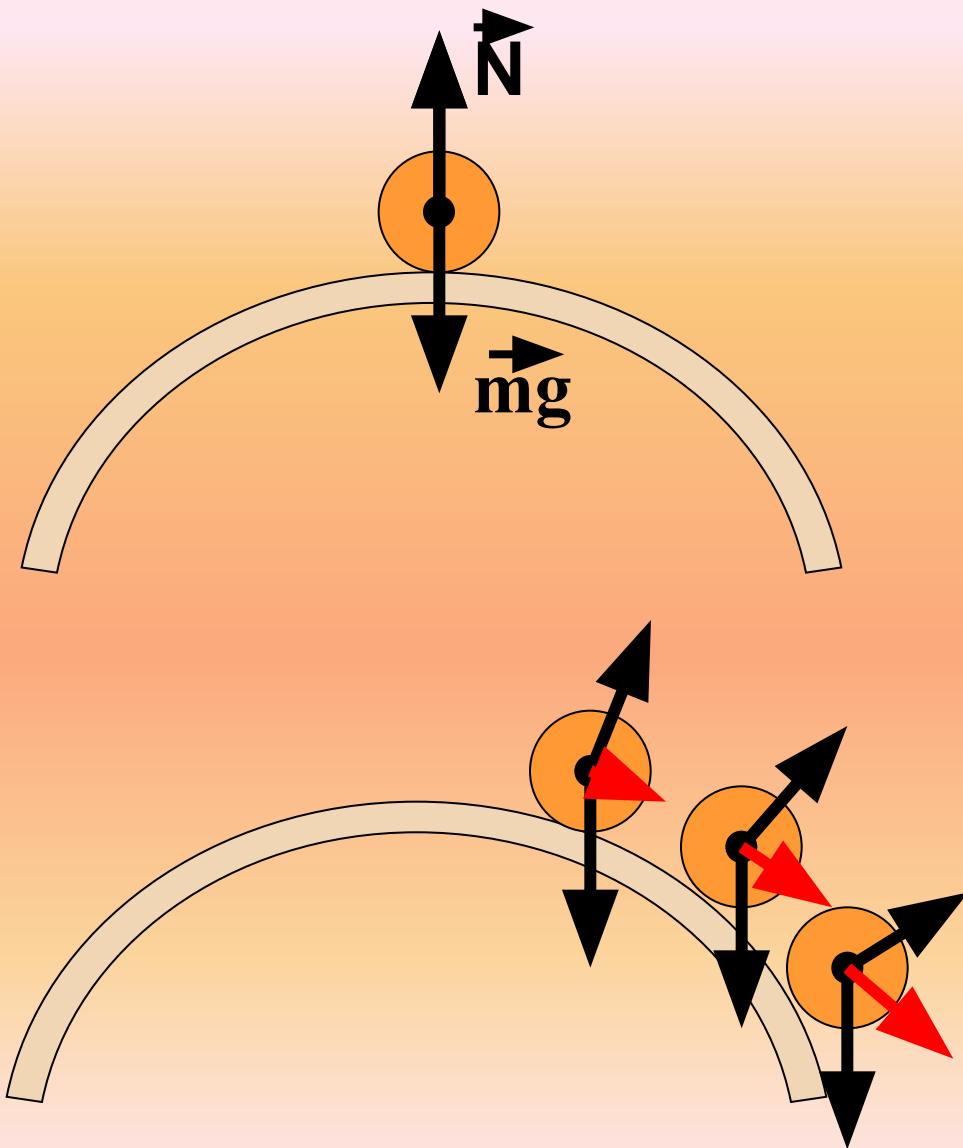


# Виды равновесия

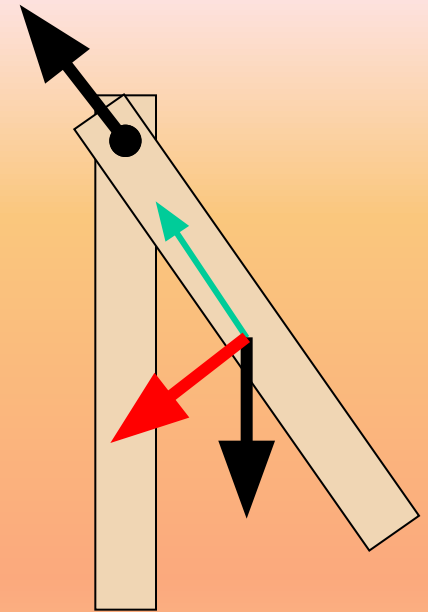
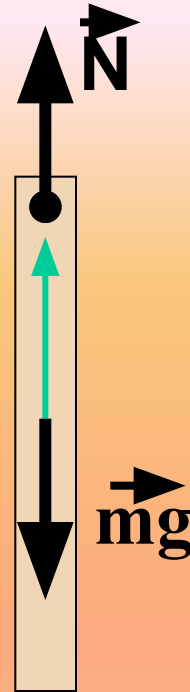
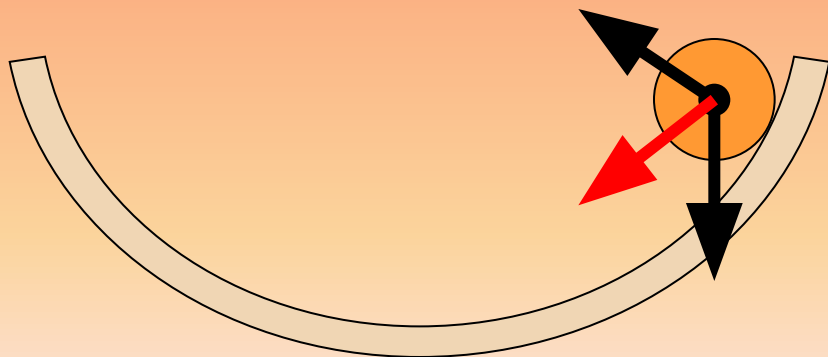
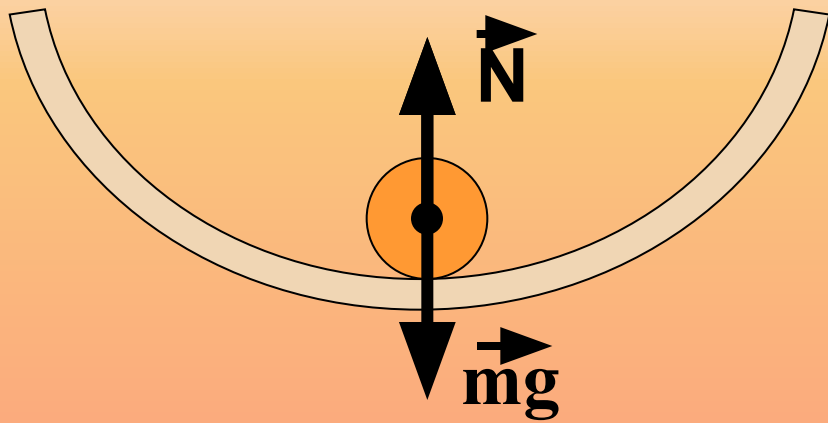




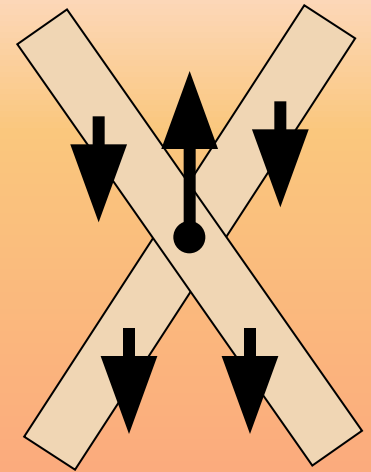
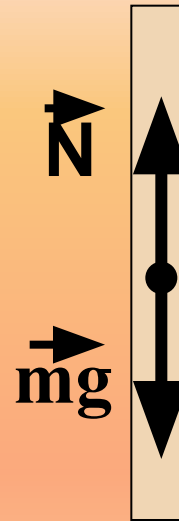
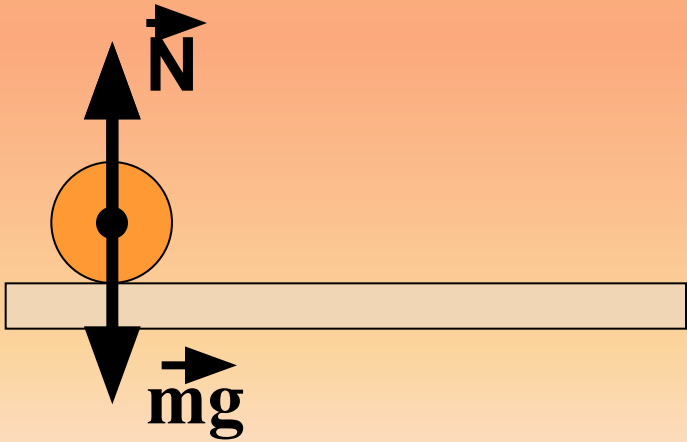
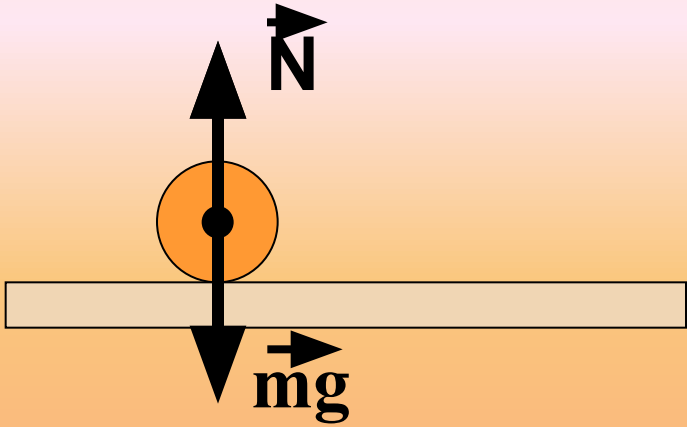
# Неустойчивое равновесие



# Устойчивое равновесие



# Безразличное равновесие



Гармонические колебания величины  $s$  описываются уравнением типа

$$s = A \cos(\omega_0 t + \phi),$$

$A$  — максимальное значение колеблющейся величины, называемое *амплитудой колебания*;

$\omega_0$  — *круговая (циклическая) частота*;

$\phi$  — начальная фаза колебания в момент времени  $t=0$ ;

$(\omega_0 t + \phi)$  — фаза колебания в момент времени  $t$ .

Фаза колебания определяет значение колеблющейся величины в данный момент времени. Так как косинус изменяется в пределах от  $+1$  до  $-1$ , то  $s$  может принимать значения от  $+A$  до  $-A$ .

## Период колебаний

$$T = 2\pi/\omega_0.$$

Величина, обратная периоду колебаний,

$$\nu = 1/T,$$

т. е. число полных колебаний, совершаемых в единицу времени, называется **частотой колебаний**.

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

Единица частоты — **герц (Гц)**: 1 Гц — частота периодического процесса, при которой за 1 с совершается один цикл процесса.

# Фаза колебаний



**Колебания  
происходят в  
одинаковых  
фазах.**

$$\Delta\varphi = 0$$



**Колебания  
происходят в  
противоположных  
фазах.**

$$\Delta\varphi = \pi$$

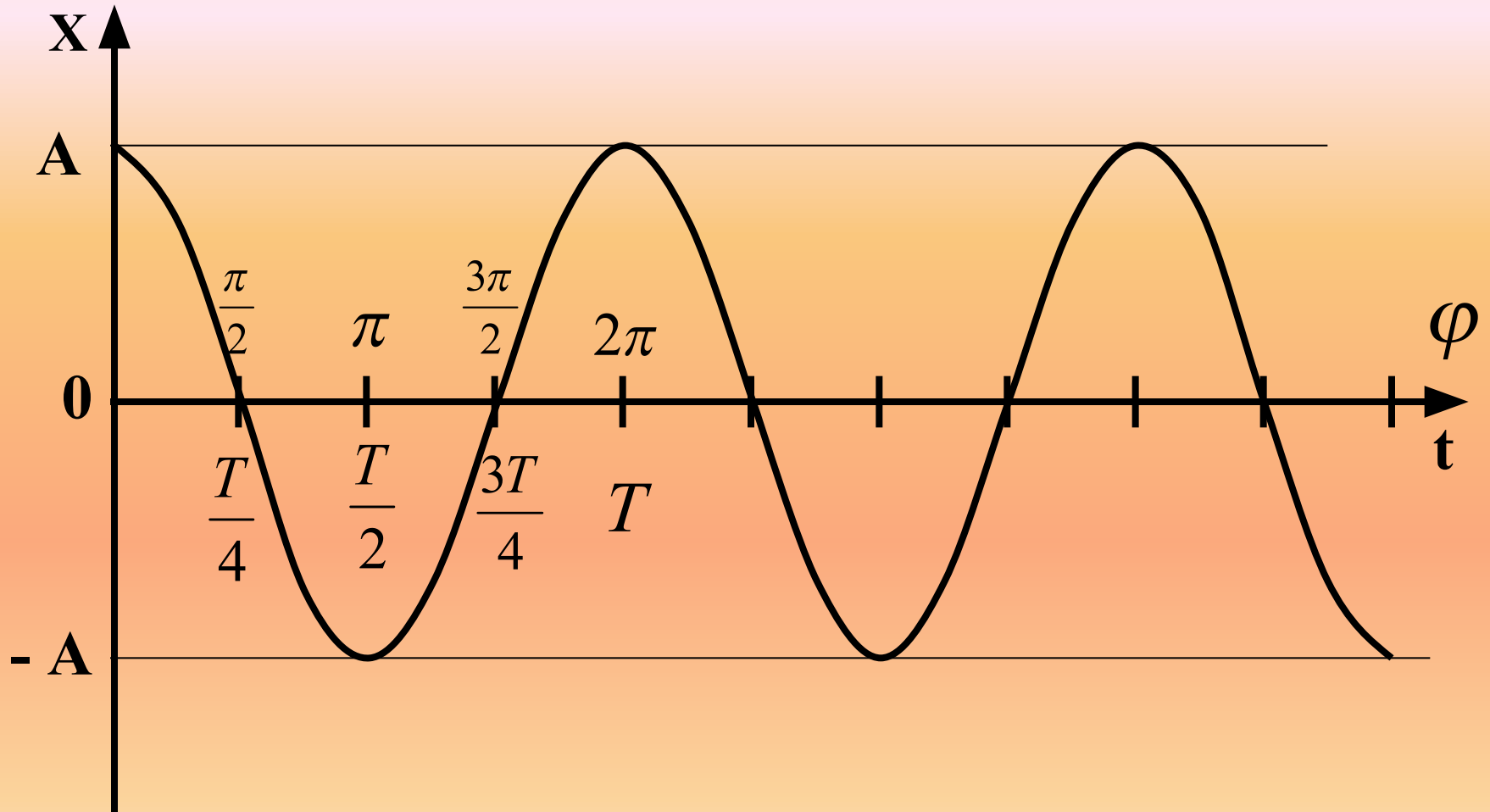


**Колебания  
происходят в  
различных  
фазах.**

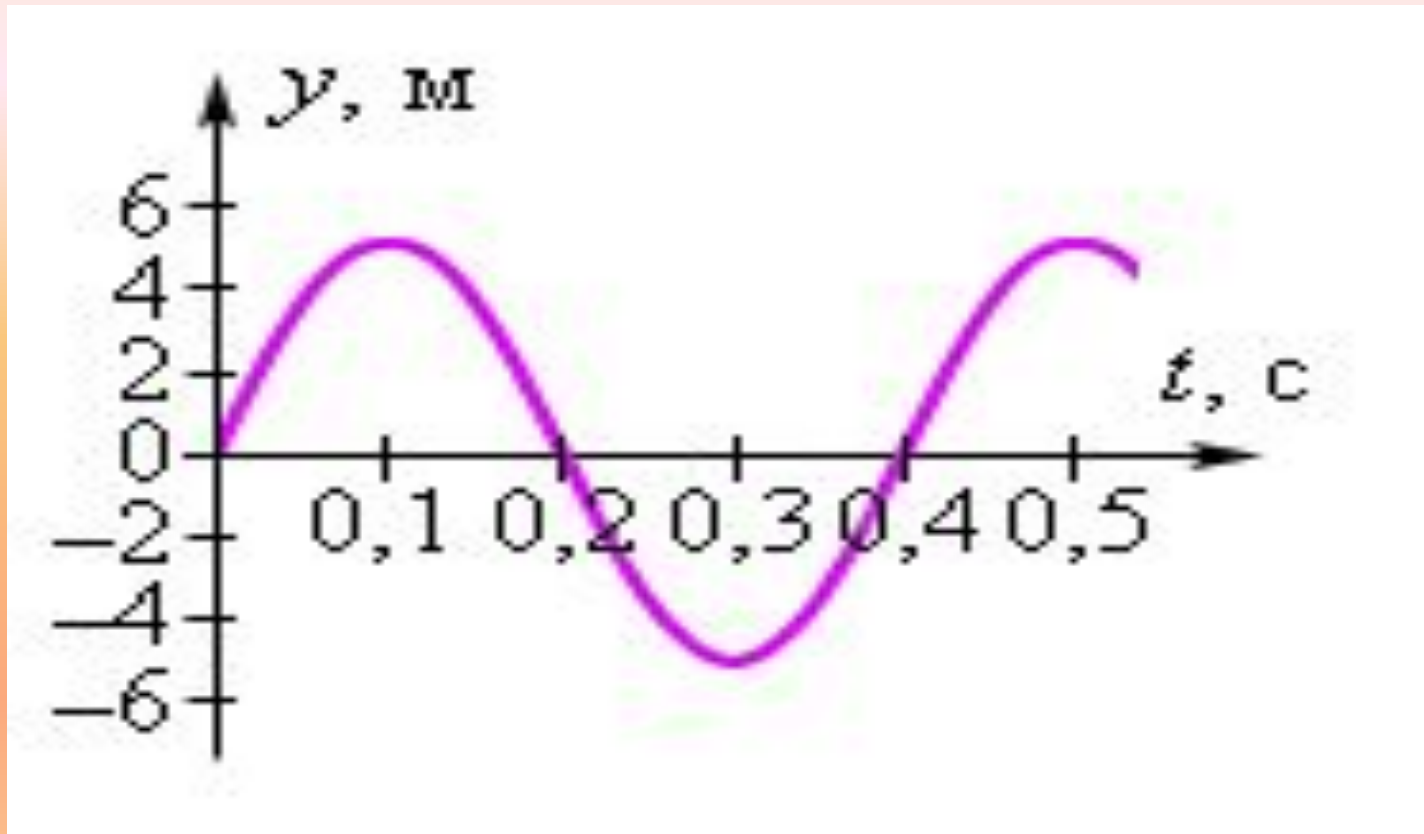
$$\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$$



# График колебаний



# Задание 1

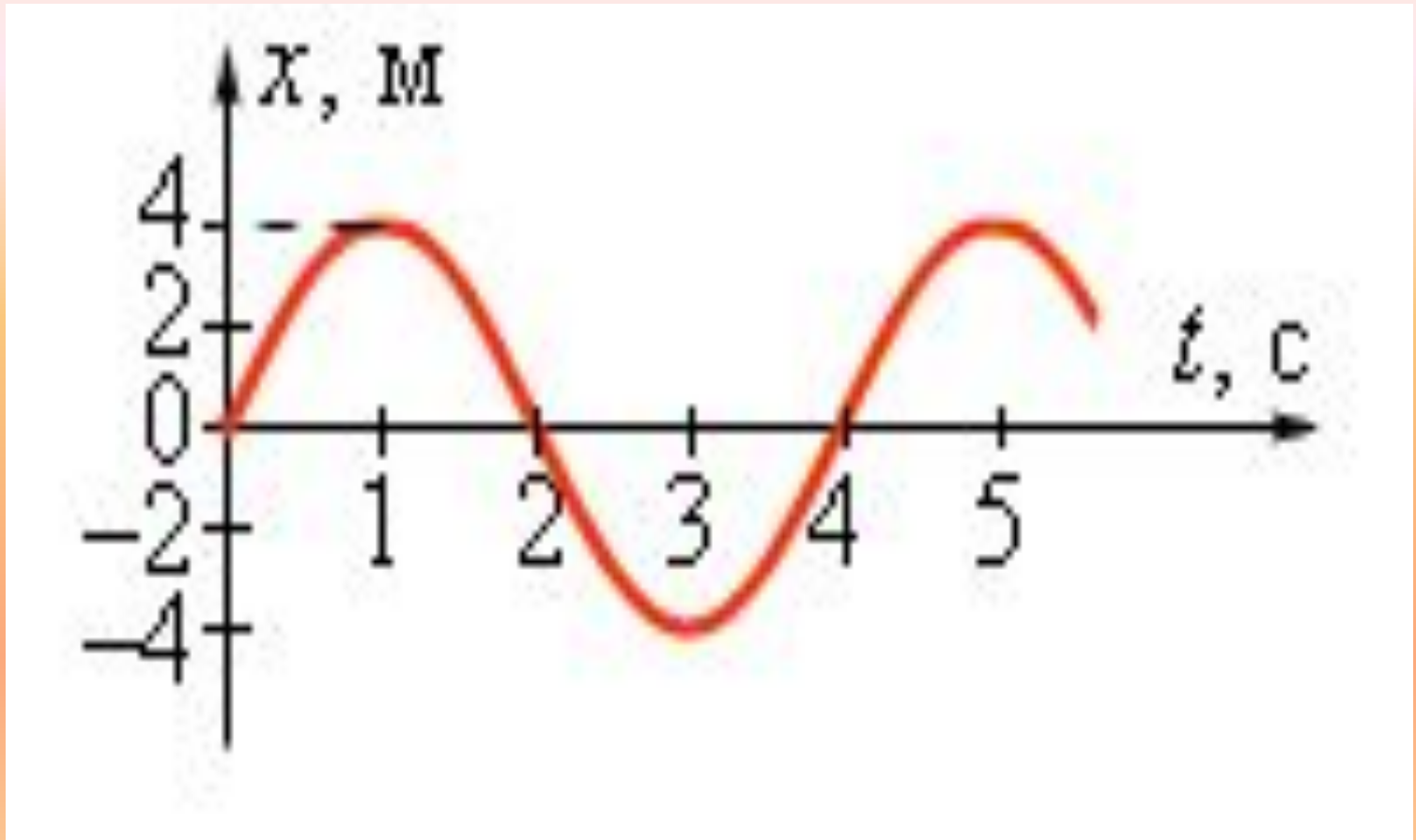


**A-? T-?  $\nu$  -?**

**Ответ:  $A = 5$  м,  $T = 0,4$  с,  $\nu = 2,5$  Гц.**



## Задание 2



**A-? T-? v-?**

**Ответ: A= 4 м, T= 4 с, v= 0,25 Гц.**

# Механические гармонические колебания

Запишем первую и вторую производные по времени от гармонически колеблющейся величины  $s = A \cos(\omega_0 t + \phi)$ :

$$\frac{ds}{dt} = -A\omega_0 \sin(\omega_0 t + \phi) = A\omega_0 \cos(\omega_0 t + \phi + \pi/2);$$

$$\frac{d^2s}{dt^2} = -A\omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \phi) = A\omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \phi + \pi),$$

т. е. имеем гармонические колебания с той же циклической частотой.

Из последнего выражения следует дифференциальное уравнение гармонических колебаний

$$\frac{d^2s}{dt^2} + \omega_0^2 s = 0$$

(где  $s = A \cos(\omega_0 t + \phi)$ ).

# Механические гармонические колебания

$$x = A \cos(\omega_0 t + \varphi).$$

$$v = -A\omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi) = A\omega_0 \cos(\omega_0 t + \varphi + \pi/2);$$

$$a = -A\omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \varphi) = A\omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \varphi + \pi).$$

$$F = -m\omega_0^2 x.$$

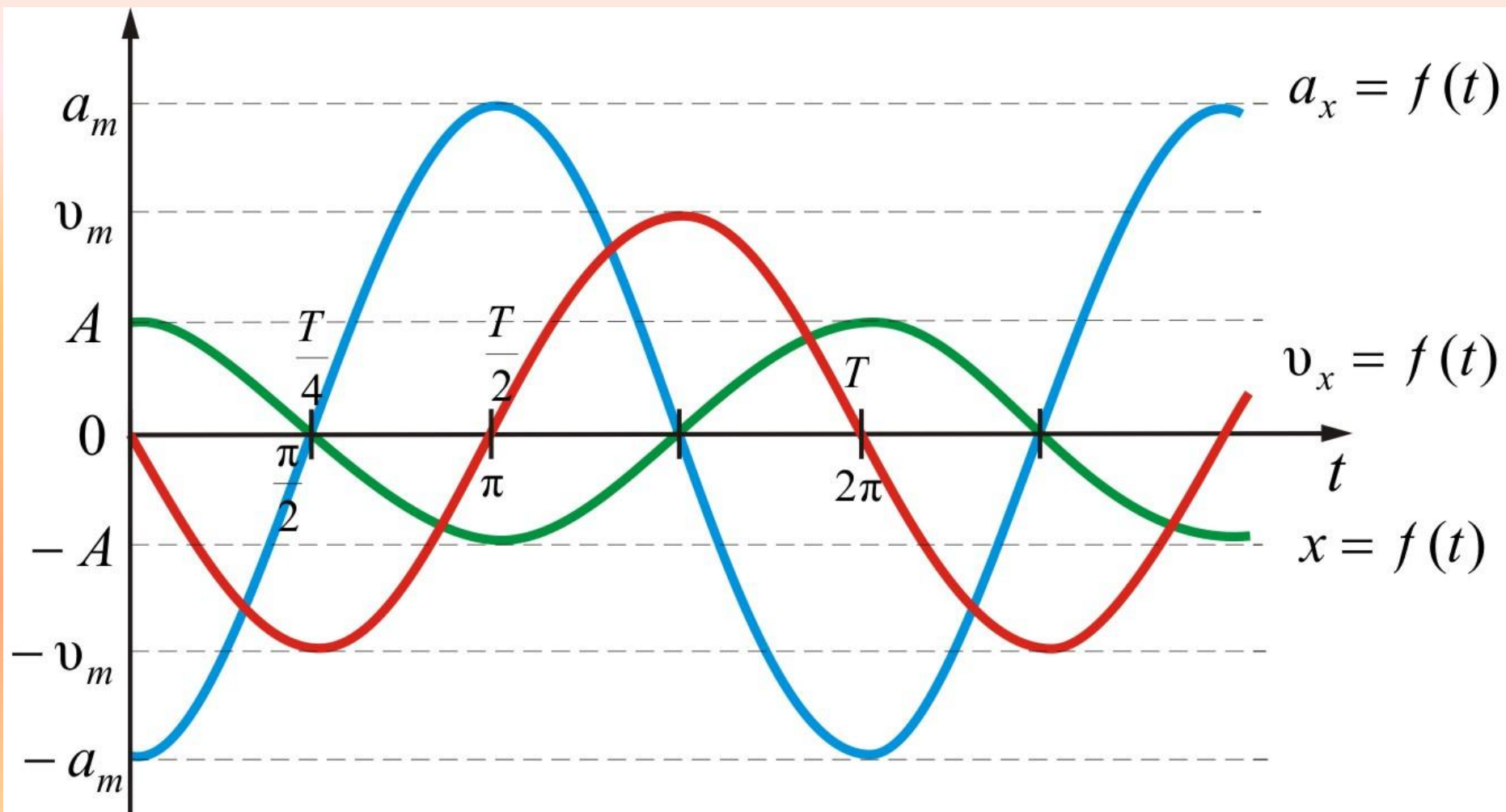
Кинетическая энергия материальной точки, совершающей прямолинейные гармонические колебания, равна

$$T = \frac{mv^2}{2} = \frac{mA^2\omega_0^2}{2} \sin^2(\omega_0 t + \varphi),$$

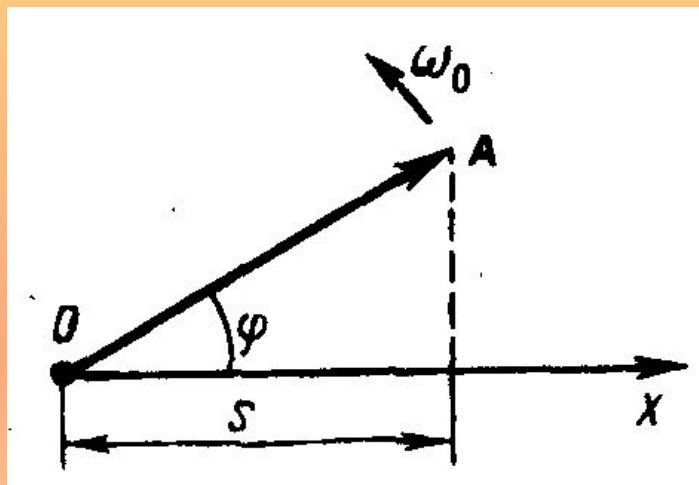
Потенциальная энергия материальной точки, совершающей гармонические колебания под действием упругой силы  $F$ , равна

$$\Pi = -\int_0^x F dx = \frac{m\omega_0^2 x^2}{2} = \frac{mA^2\omega_0^2}{2} \cos^2(\omega_0 t + \varphi),$$

$$E = T + \Pi = mA^2\omega_0^2/2.$$



**Гармонические колебания** изображаются графически методом вращающегося вектора амплитуды, или методом векторных диаграмм.



Если вектор  $A$  привести во вращение с угловой скоростью  $\omega_0$ , равной циклической частоте колебаний, то проекция конца вектора будет перемещаться по оси  $x$  и принимать значения от  $-A$  до  $+A$ , а колеблющаяся величина будет изменяться со временем по закону  $s=A \cos (\omega_0 t+\phi)$ .

# МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

## СВОБОДНЫЕ

это колебания,  
происходящие  
под действием  
внутренних сил.



## ВЫНУЖДЕННЫЕ

это колебания,  
происходящие под  
действием внешних  
сил.



# Колебания



**Свободные**  
**(затухающие)**

**Вынужденные**  
**(незатухающие)**

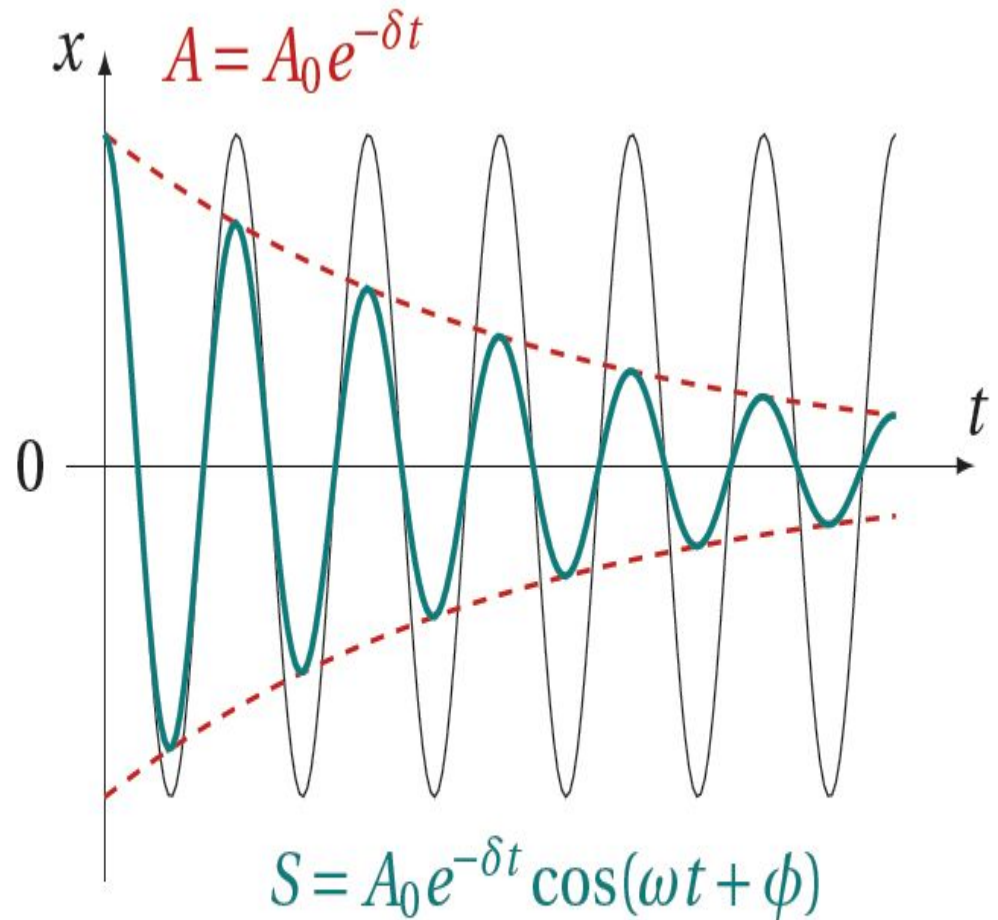


# Свободные (затухающие) колебания

## Затухающие колебания

колебания, амплитуды которых из-за потерь энергии реальной колебательной системой с течением времени уменьшаются

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$$



$\delta$  – коэффициент затухания,  
 $\omega_0$  – собственная частота колебательной системы



**Время релаксации** – промежуток времени в течение которого амплитуда затухающих колебаний уменьшается в  $e$  раз

$$\tau = \frac{1}{\delta}$$

**Декремент затухания**

$$\frac{A(t)}{A(t+T)} = e^{\delta T}$$

**Логарифмический декремент затухания**

$$\vartheta = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \delta T = \frac{T}{\tau}$$

## Добротность

$$Q = \frac{\pi}{\vartheta} = \frac{\pi}{\delta T_0} = \frac{\omega_0}{2\delta}$$

Добротность  $Q$  характеризует резонансные свойства колебательной системы

# Вынужденные колебания

## Вынужденные колебания

колебания, возникающие под действием внешней периодически изменяющейся силы или внешней периодически изменяющейся ЭДС

$$f = f_0 \cos(\omega_{\text{внеш}} t + \varphi)$$

Механические колебания

$$f_0 = \frac{F_0}{m}$$

Электромагнитные колебания

$$f_0 = \frac{U_0}{L}$$

# ЗАДАНИЕ 3

**В предлагаемых вам примерах  
выделите колебательные  
движения, и разделите их на 2  
группы: свободные и  
вынужденные.**

# Ребята качаются на каруселях.



# Акробат прыгает на батуте.



# Движение иглы в швейной машине.

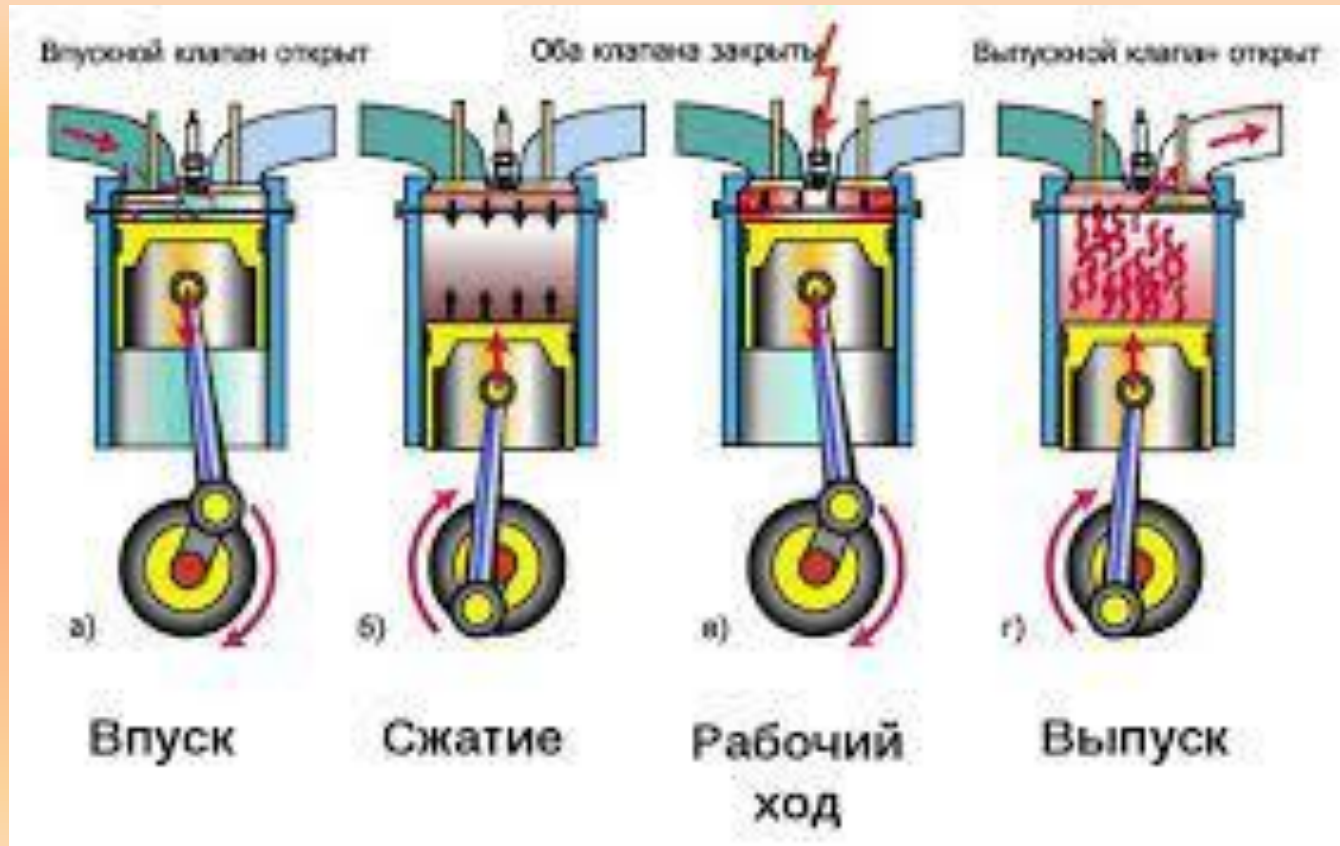


**Бабочка машет крыльями.**

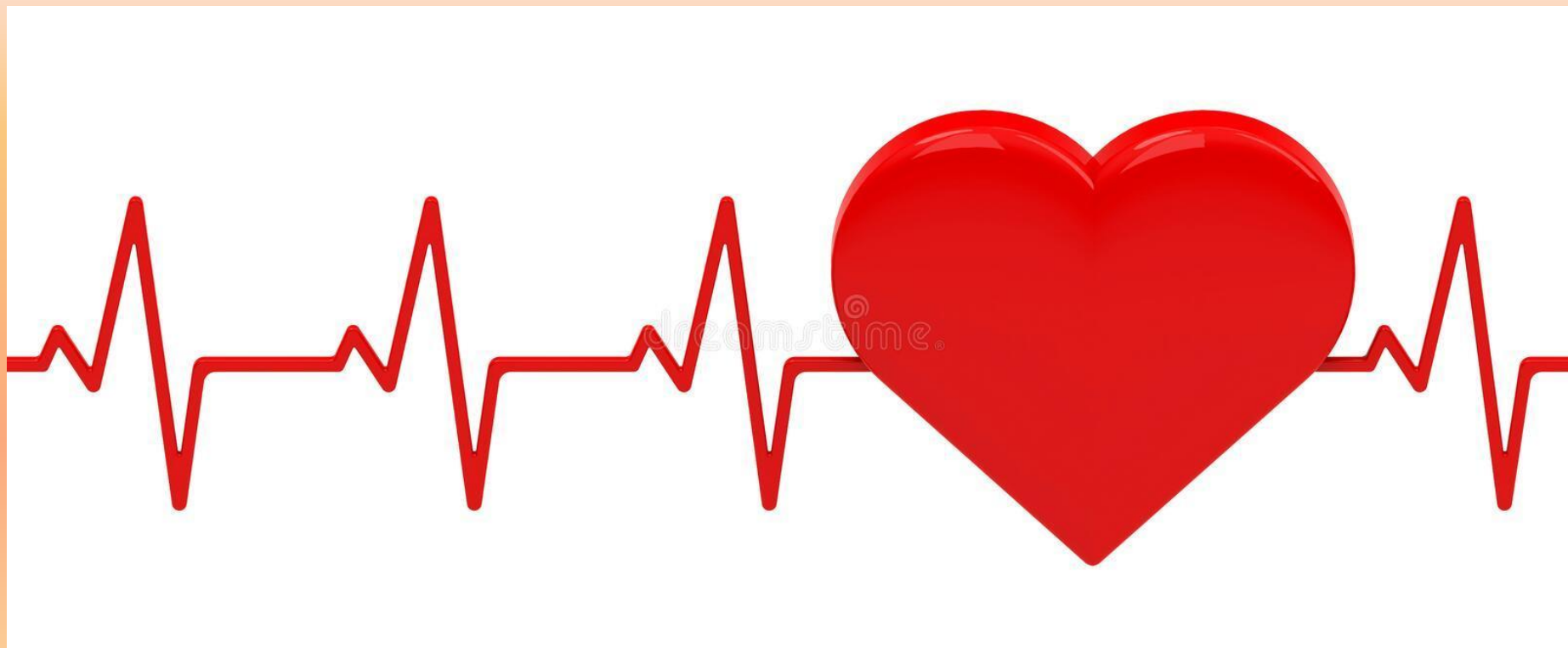




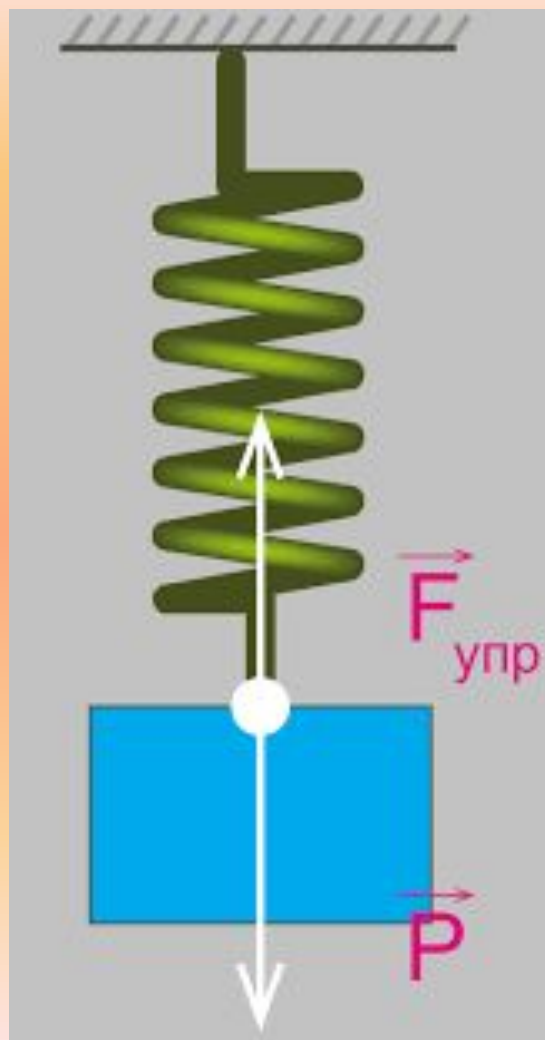
# Движение поршня в работающем двигателе внутреннего сгорания.



# Биение сердца.



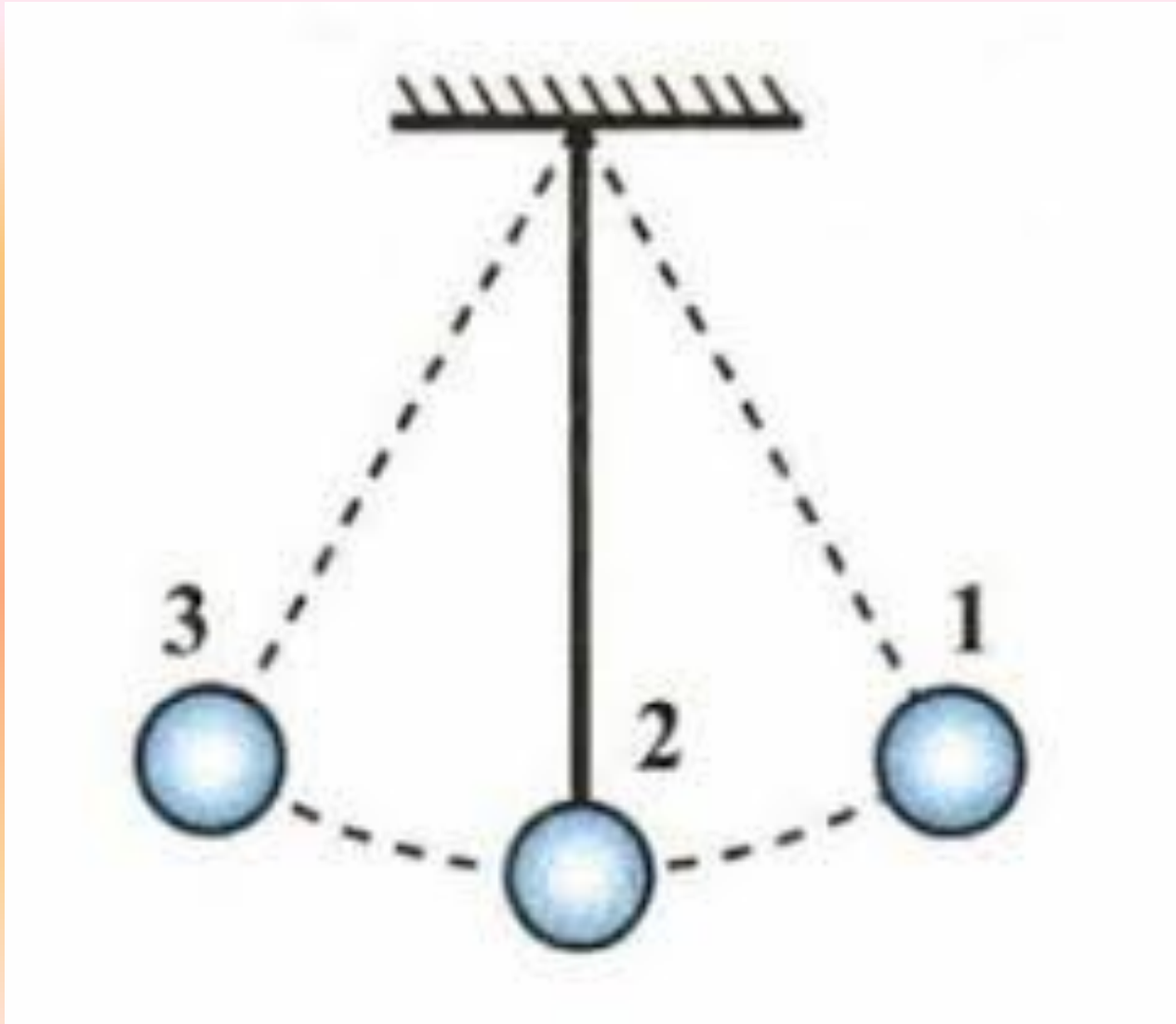
# Движение груза, подвешенного на пружине.



# Тряска автомобиля, движущегося по неровной дороге.



# Колебания груза на нити.



# Футболист бьет пенальти.



# ЕСТЬ ЛИ СВЯЗЬ МЕЖДУ ТЕХНИКОЙ И КОЛЕБАНИЯМИ?



В настоящее время инженеры и техники все больше занимаются вопросами, связанными с уменьшением механических колебаний и виброизоляцией.

Необходимость точного измерения и анализа механических колебаний возникла с первых шагов разработки и конструирования машин, учитывающих вопросы амортизации механических колебаний и виброизоляции.

Применение *пьезоэлектрических акселерометров*, преобразующих механические колебания в электрические сигналы, раскрыло новые возможности точного измерения и анализа механических колебаний электронными измерительными приборами.





## Пьезоэлектрические акселерометры



## Цифровой измеритель вибрации

В последние 15 - 20 лет произошло быстрое развитие техники измерения и анализа механических колебаний (*виброметрии*) с тем, чтобы удовлетворить всем требованиям исследования и испытания новых, легких и быстродействующих машин и оборудования.



## Датчики механических колебаний

Датчики относительных перемещений хорошо подходят для некоторых специальных случаев мониторинга валов, а для общих задач мониторинга состояния машинного оборудования лучше всего подходят **сейсмические датчики**, с помощью которых измеряются абсолютные значения механических колебаний.



# Что такое осциллятор?

Гармонический осциллятор - система, совершающая колебания, описываемые уравнением:

$$\ddot{s} + \omega_0^2 s = 0.$$

**Маятники**



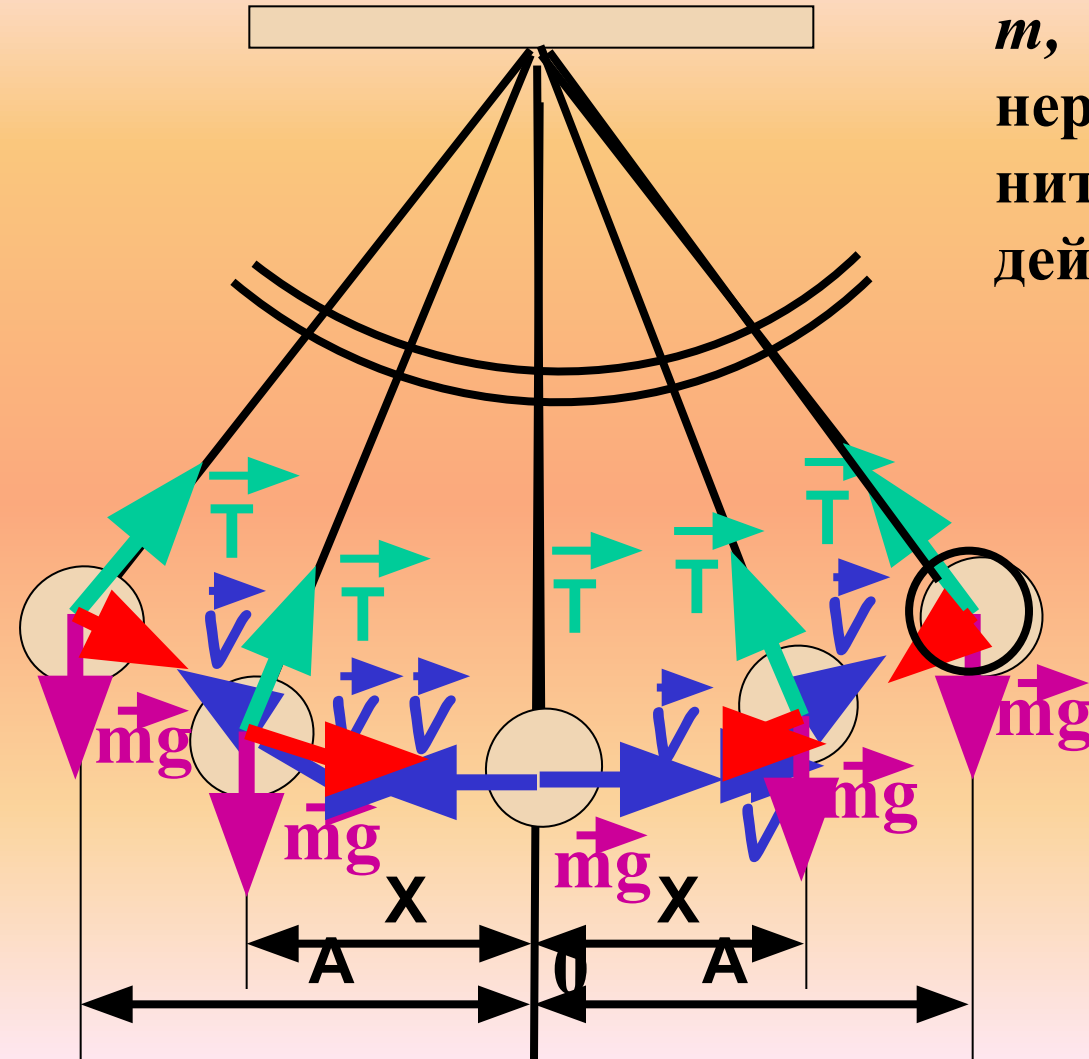
**Математический**

**Физический**

**Пружинный**

# Математический (нитяной) маятник

- это *идеализированная* система, состоящая из материальной точки массой  $m$ , подвешенной на нерастяжимой невесомой нити, и колеблющаяся под действием силы тяжести.



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

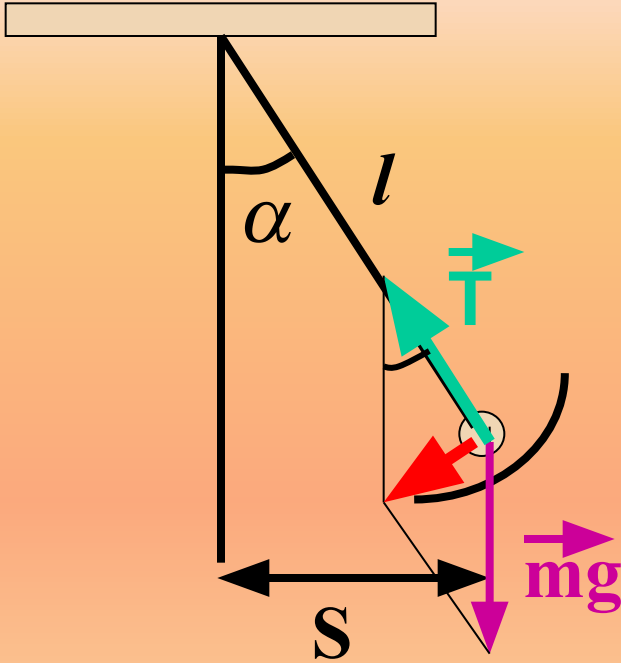
$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$$

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

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



# Уравнение колебаний



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

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

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

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

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

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

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

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



# Лабораторная работа №8. Изучение колебаний нитяного маятника.



Цель работы: установить зависимость периода колебаний нитяного маятника от его длины.

Повтори теорию

Предложи способ

Ход работы

Проверь себя

Отчёт

1

1. Установите длину нити около 20 – 30 см.

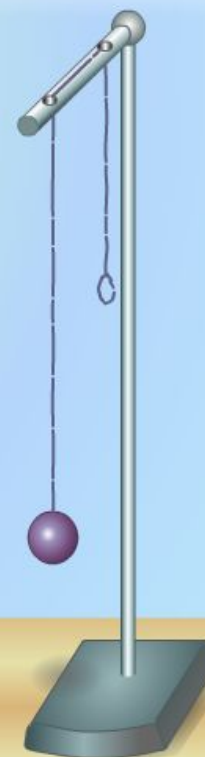
2. Отклоните шарик на небольшой угол от положения равновесия и отпустите.

3. Измерьте время, за которое маятник сделает  $n=30$  полных колебаний.

4. Вычислите период и частоту колебаний.

5. Результаты измерений занесите в первую строку таблицы.

№	$L, м$	$t, с$	$n$	$T, с$	$\nu, 1/с (Гц)$
1					
2					
3					



2

3

## **Задание 4**

**Зависит ли период колебания математического маятника от массы тела?**

**От длины нити?**

**Зависит ли частота колебания математического маятника от длины нити?**

**Ответ: От массы не зависит, от длины - изменяется.**



## Задание 5: Кто больше?

**Колебательное движение тела описывается данной формулой:**

$$x = 20 \sin\left(2t + \frac{\pi}{3}\right)$$

**Установите как можно больше физических величин, характеризующих это колебание.**

**Рефлексия** – из трех предложенных стихов выбери одно, характеризующее твоё состояние на конец занятия.

**1. Искрятся глаза,  
Смеется душа,  
И ум мой поет:  
«К знаниям вперед»!**

**2. Не весел я сегодня,  
В тишине взгрустнулось мне,  
И о законе сохраненья  
Все промчалось вдалеке.**

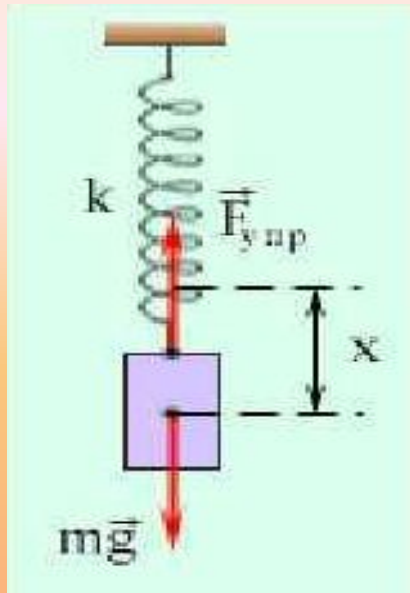
**3. Вспоминая все познания свои,  
И физики мир постигая,  
Я благодарен матушке судьбе,  
Что колебания в мире есть и нам их всех не счесть!**

**Предлагаю вам поблагодарить себя за работу на занятии, совершить одно вынужденное колебание – похлопать в ладоши.**

**И один совет: Хочешь сделать доброе дело – отбрось колебания.**

**(Персидская пословица)**

# Пружинный маятник



— это груз массой  $m$ , подвешенный на абсолютно упругой пружине и совершающий гармонические колебания под действием упругой силы  $F = -kx$ , где  $k$  — жесткость пружины. Уравнение движения маятника

$$m\ddot{x} = -kx, \text{ или } \ddot{x} + \frac{k}{m}x = 0.$$

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

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

$$v = 0$$

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

$$E_k = 0$$

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

$$E_{\text{полн}} = E_k + E_n$$

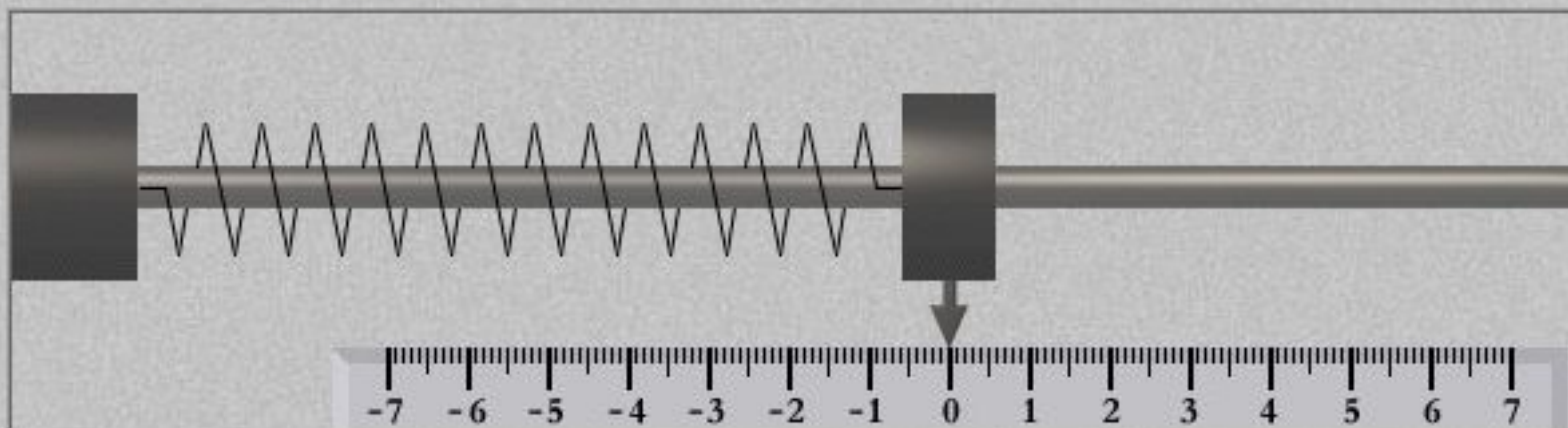
$$E_{\text{полн}} = \frac{kA^2}{2}$$

$$T = 2\pi \sqrt{m/k}.$$

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

$$\Pi = kx^2/2.$$

## Эксперимент



Тип колебаний:

Введите круговую частоту вынуждающей силы в рад/с или используйте для этого ползунок:

$\omega =$

Управление колебаниями:

$\omega =$

Управление секундомером:

Установите коэффициент затухания:

$\beta =$

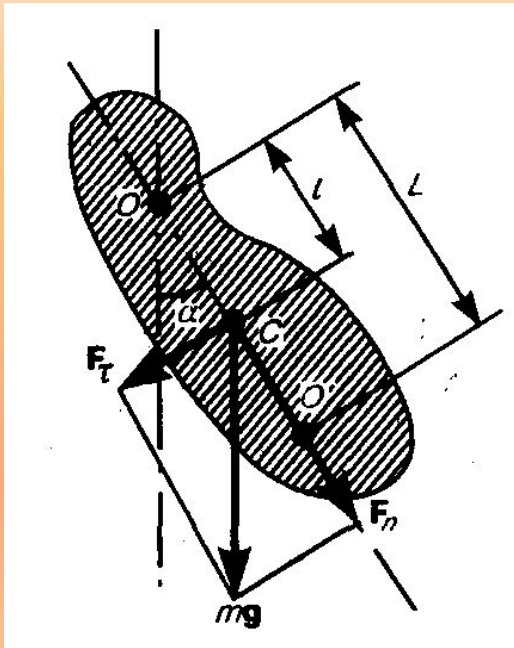
$\beta_1$

$\beta_2$



$t = 0,0$

**Физический маятник** — это твердое тело, совершающее под действием силы тяжести колебания вокруг неподвижной горизонтальной оси, проходящей через точку  $O$ , не совпадающую с центром масс  $C$  тела.



$$I' = Je = J\ddot{\alpha} = F_t l = -mgl \sin \alpha \approx -mgl\alpha,$$

$$J\ddot{\alpha} + mgl\alpha = 0, \text{ или } \ddot{\alpha} + \frac{mgl}{J} \alpha = 0.$$

$$\omega_0 = \sqrt{mgl/J},$$

$$\ddot{\alpha} + \omega_0^2 \alpha = 0,$$

$$\alpha = \alpha_0 \cos(\omega_0 t + \varphi).$$

$$T = 2\pi/\omega_0 = 2\pi\sqrt{J/(mgl)} = 2\pi\sqrt{L/g},$$

где  $L = J/(ml)$  — приведенная длина физического маятника.

# Исследование колебаний физического маятника (стержень)

## Параметры маятника

$$m = 1 \text{ кг}$$

$$l = 1.5 \text{ м}$$

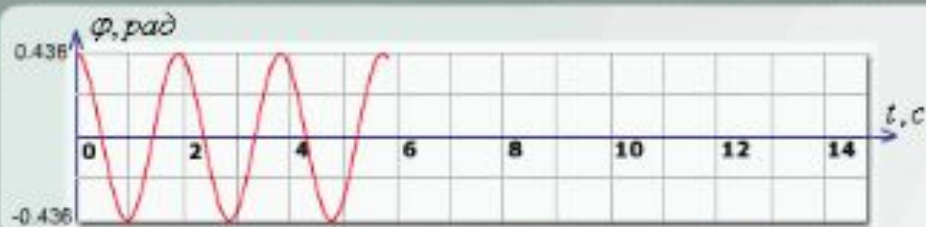
$$d = 0.59 \text{ м}$$

$$T = ? \text{ с}$$

$$v = ? \text{ Гц}$$

$$\varphi = 0.412 \text{ рад}$$

- Меркурий
- Венера
- Земля
- Марс
- Луна



5.839

пуск пауза сброс

N 3

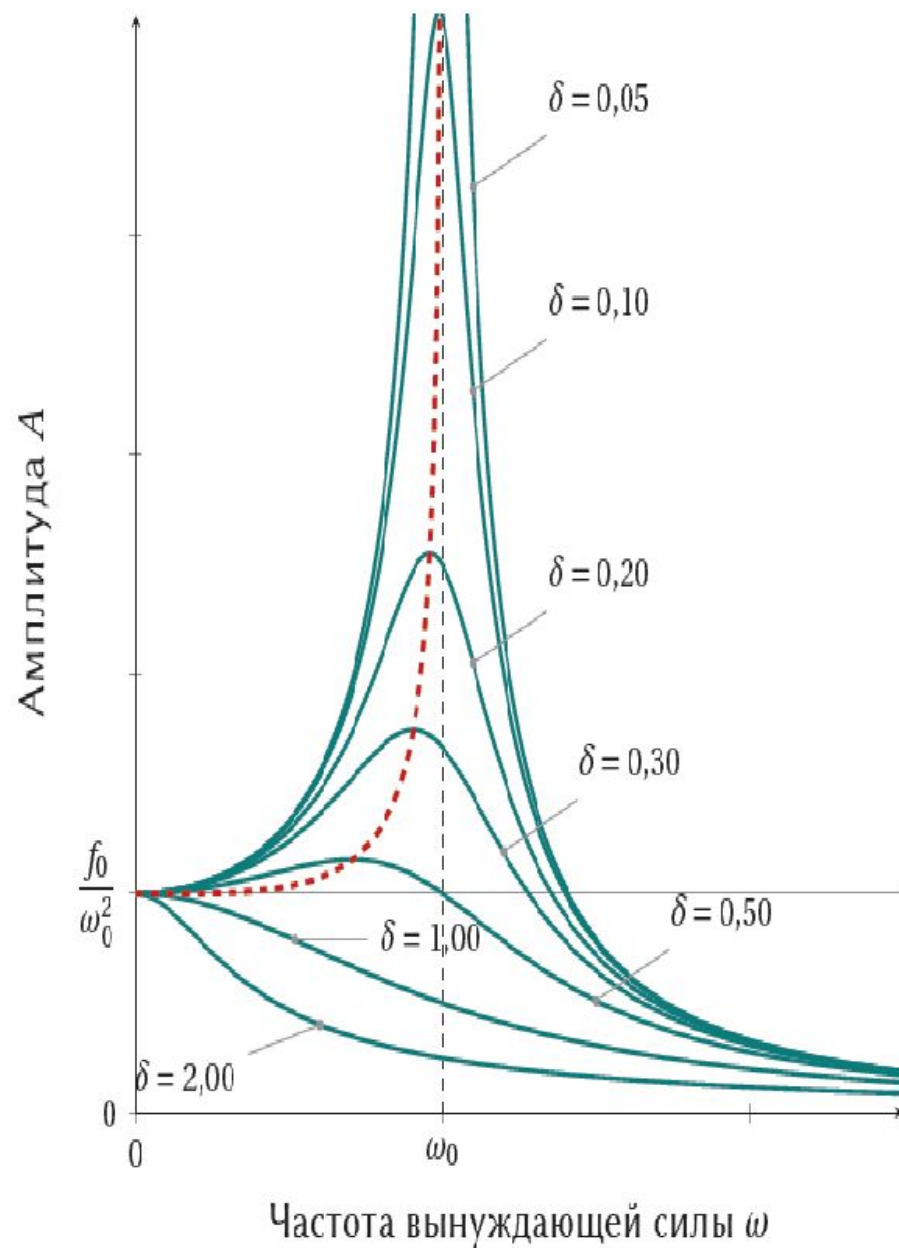


# Резонанс

резкое увеличение амплитуды результирующих колебаний при приближении частоты вынуждающей силы к собственной частоте колебательной системы

$$\omega_0^2 - \omega^2 = 0$$

$$\omega_{\text{рез}} = \omega_0$$







# Вред и польза резонанса

## • **Использование:**

- Резонаторы в музыкальных инструментах.
- Магнитно-резонансное обследование организма.
- Раскачивание качелей.
- Раскачивание языка колокола.
- Резонансные замки и ключи.

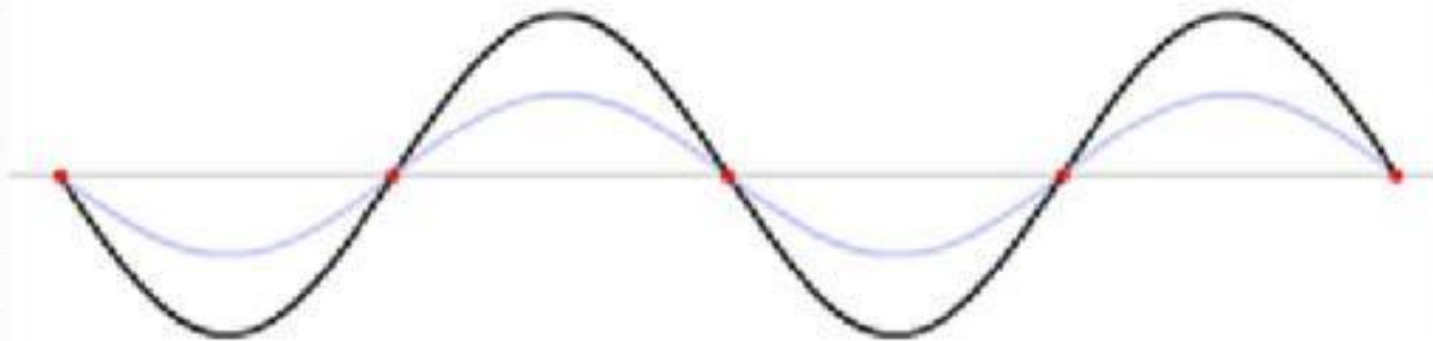
## • **Вред:**

- Разрушение сооружений.
- Обрыв проводов.
- Расплескивание воды из ведра.
- Раскачивание вагона на стыках рельсов.
- Раскачивание груза на подъёмном кране.

# Механические ВОЛНЫ

Механические волны- колебания, распространяющиеся в пространстве с течением времени.

Источниками волн называют тела, которые, воздействуя на среду, вызывают в ней волны.





# СВОЙСТВА ВОЛН

- 1. Механические волны распространяются только в упругой среде.**
- 2. При распространении волны частицы колеблются около своих положений равновесия, а не перемещаются вслед за волной.**
- 3. Перенос энергии происходит без переноса вещества.**

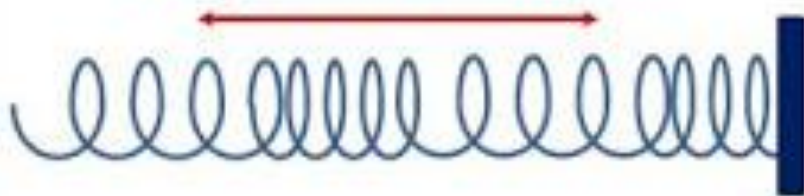
# Волны

продольные

поперечные

Направление колебаний совпадает с направлением распространения волны

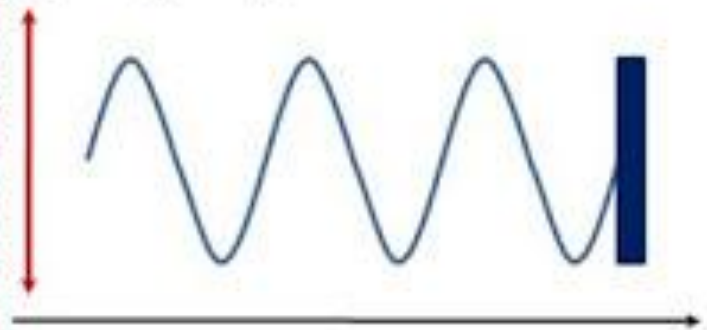
направление колебаний



направление распространения  
волны

Направление колебаний перпендикулярно направлению распространения волны

направление колебаний



направление распространения  
волны

# МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ

## СКОРОСТЬ И ДЛИНА ВОЛНЫ

**Волна** — процесс распространения колебания в среде с течением времени. При распространении волны происходит перемещение определённого состояния колеблющейся среды, но не перенос вещества.

**Скорость волны**  $\vec{u}$  — скорость распространения изменений состояния среды.

**Длина волны**  $\lambda$  — расстояние между ближайшими друг к другу точками, колеблющимися в одинаковых фазах:  $u = \lambda v$ .

**Продольные волны** — волны, в которых  $\vec{u} \parallel \vec{v}$ , **поперечные волны** — волны, в которых  $\vec{u} \perp \vec{v}$  ( $\vec{v}$  — вектор скорости движения частиц вещества).

**Звуковые (акустические) волны** — продольные волны в среде с частотой колебаний от 17 до 20 000 Гц.

## УРАВНЕНИЕ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ

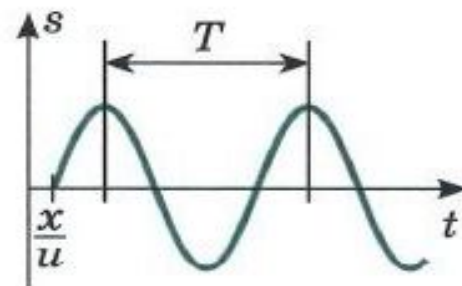
**Гармоническая волна** — процесс распространения в среде гармонических колебаний.

Если источник волн колеблется по закону:

$$s = s_m \sin \omega t,$$

то любая точка на расстоянии  $x$  от источника колеблется по закону:

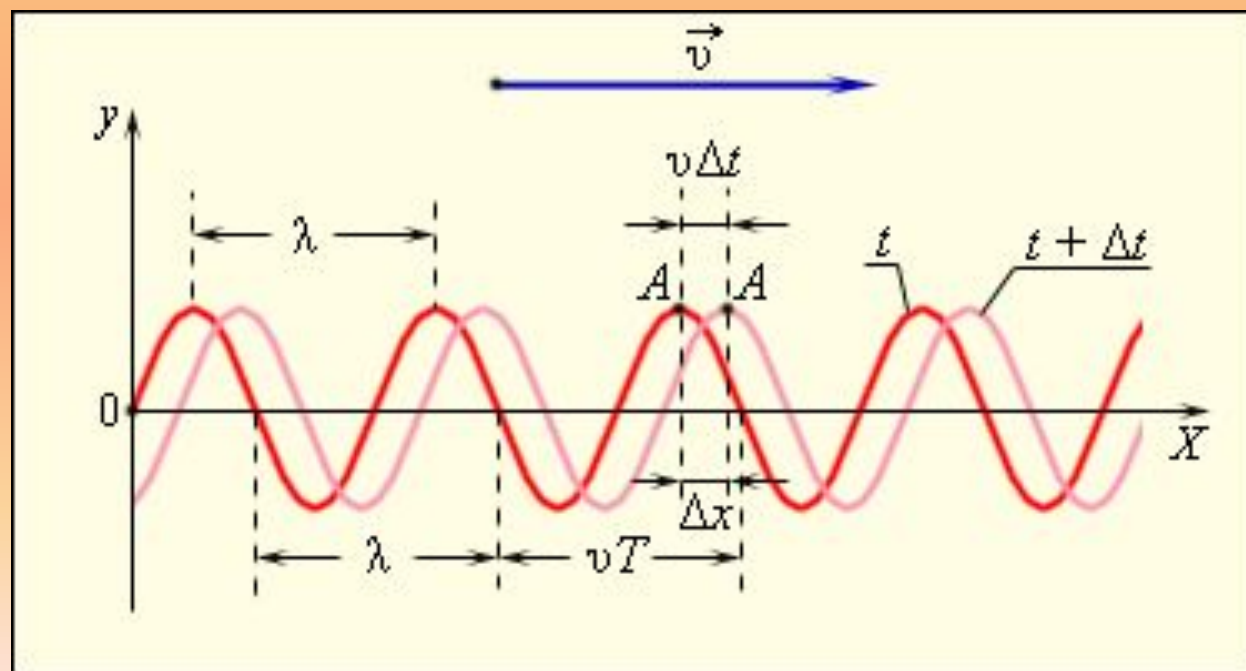
$$s = s_m \sin \omega \left( t - \frac{x}{u} \right).$$



**Фазовая скорость** – это скорость распространения фазы волны. (скорость распространения волны)

$$\frac{dx}{dt} = v$$

Для синусоидальной волны **скорость переноса энергии равна фазовой скорости.**



$v$  СКОРОСТЬ ВОЛНЫ

$T$  ПЕРИОД

$\lambda$  ДЛИНА ВОЛНЫ

$\nu$  ЧАСТОТА

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

$$v = \lambda \cdot \nu$$

$$\lambda = v \cdot T$$

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



# ЗВУКОВЫЕ ВОЛНЫ



Источник звука –

колеблющееся тело ( $20 \text{ Гц} < \nu < 20\,000 \text{ Гц}$ )

**инфразвук** ( $\nu < 20 \text{ Гц}$ )    **ультразвук** ( $\nu > 20\,000 \text{ Гц}$ )

Характеристики звука:

**Высота звука** зависит от частоты ( $\nu$ ) колебаний основного тона

**Громкость звука** зависит от амплитуды ( $A$ ) колебаний

**Уровень громкости:** листание газеты – 20 дБ,

звук будильника – 80 дБ, двигатель самолета – 130 дБ.

**Звук распространяется** во всех упругих телах (тв., ж., г.),

**не распространяется** в вакууме

$v_{\text{зв.}}$  зависит от свойств среды, в которой распространяется звук

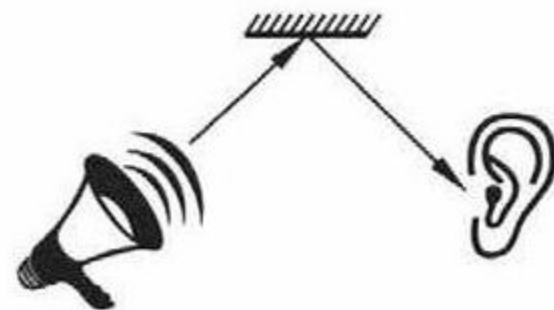
(в воздухе  $\approx 340 \text{ м/с}$ , в воде  $\approx 1483 \text{ м/с}$ , в стекле  $\approx 5500 \text{ м/с}$ )

## ЗВУКОВОЙ РЕЗОНАНС



*усиливают звук, придают тембр*  
(корпуса муз. инструментов,  
гортань, полость рта)

## ОТРАЖЕНИЕ ЗВУКА. ЭХО



# Классификация звуковых волн

**Инфразвук** – упругие колебания и волны с частотами, лежащими ниже области слышимых человеком частот.

**Ультразвук** – упругие волны высокой частоты, в диапазоне от 20000 до нескольких миллиардов герц.

**Гиперзвук** - это упругие волны с частотами от  $10^9$  до  $10^{12} - 10^{13}$  Гц. По физической природе гиперзвук ничем не отличается от звуковых и ультразвуковых волн.



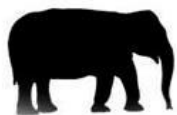
# Ультразвук в живой природе



- Звуковой спектр по частотным характеристикам можно разделить на три сегмента.

**Инфразвук**

**Ультразвук**



## Ультразвук в природе



## Гиперзвуки



## Способ «Синквейн»

### Волны

- Два прилагательных
- Три глагола
- Цитата или составленная учеником фраза в контексте с темой.

**«Синквейн»** - это резюме, которое дает новую интерпретацию темы, позволяет выразить личное отношение к ней.

# ВОПРОСЫ для самоконтроля:

1. Какие маятники вы знаете?
2. Как изменится период колебания маятника, если массу груза увеличить до 4 кг?
3. Что называется колебательным движением?
4. Что называется гармоническими колебаниями?
5. *Бунтует вихорь в поле чистом,  
И на краю седых небес  
Качает обнаженный лес...*  
(А.С.Пушкин. «Руслан и Людмила»)  
Какой вид движения описывает поэт в данном отрывке?
6. Можно ли движение леса считать вынужденными колебаниями?
7. *Конь бежит, земля трясется.  
Конь бежит, земля дрожит.*  
Объясните это явление.

## **Видео: Механические волны. Звуки.**

<https://www.youtube.com/watch?v=Z1IRIiJNbDA>

[\*\*https://www.youtube.com/watch?v=3gwFrEoo8QQ\*\*](https://www.youtube.com/watch?v=3gwFrEoo8QQ)

**СПАСИБО  
ЗА ВНИМАНИЕ!**