# 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.**

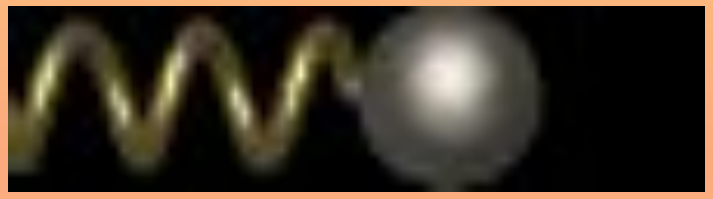
## *ЗАДАЧИ ЗАНЯТИЯ:*

- **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.

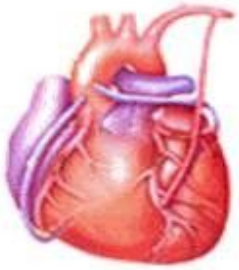
**Механические колебания – это движения, которые точно или приблизительно повторяются через определенные интервалы времени.**

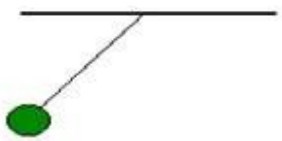


# Колебания:

- **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;**

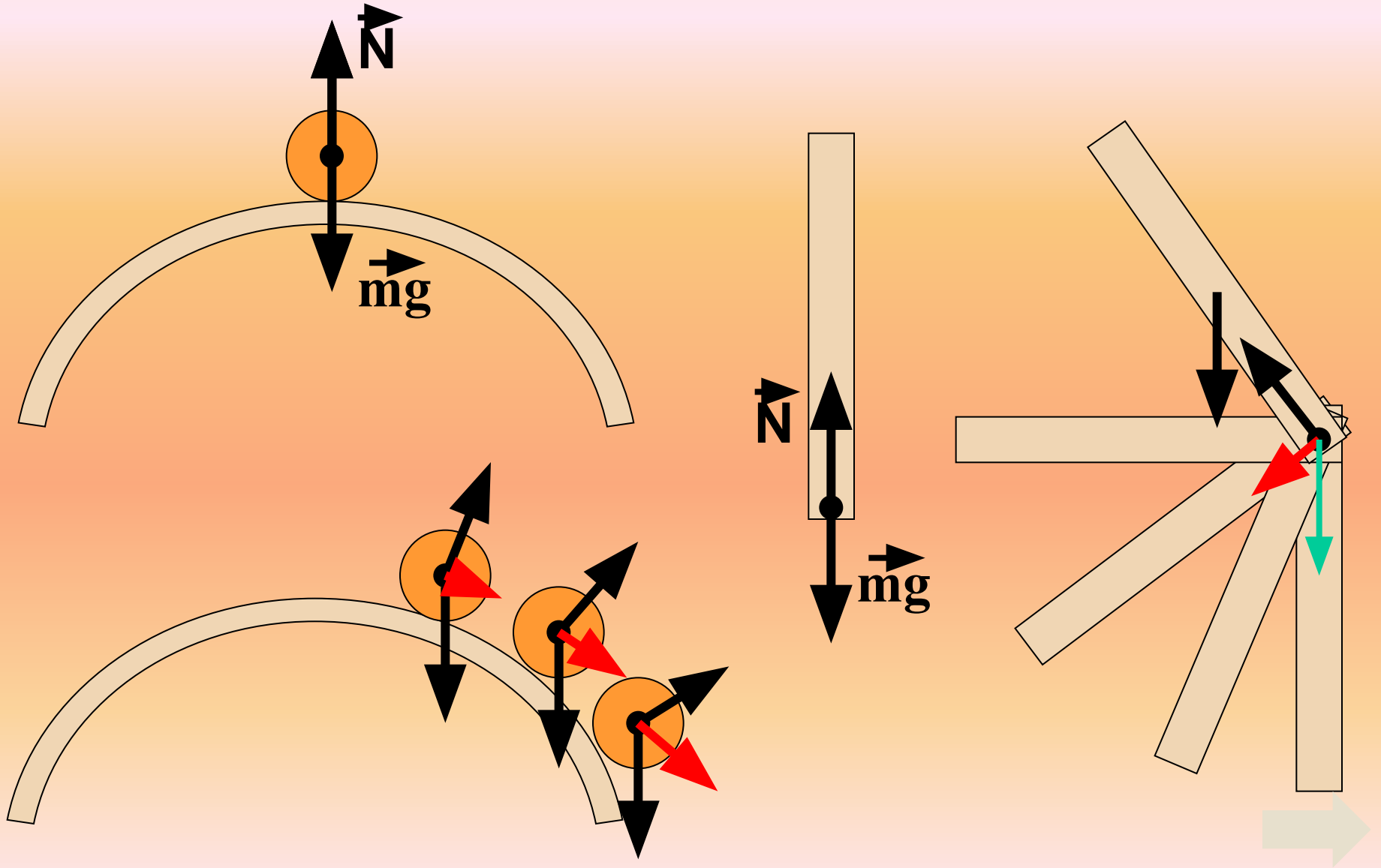
**2) различные периодические процессы (процессы, повторяющиеся через равные промежутки времени) можно представить как наложение гармонических колебаний.**

# Условия возникновения колебаний

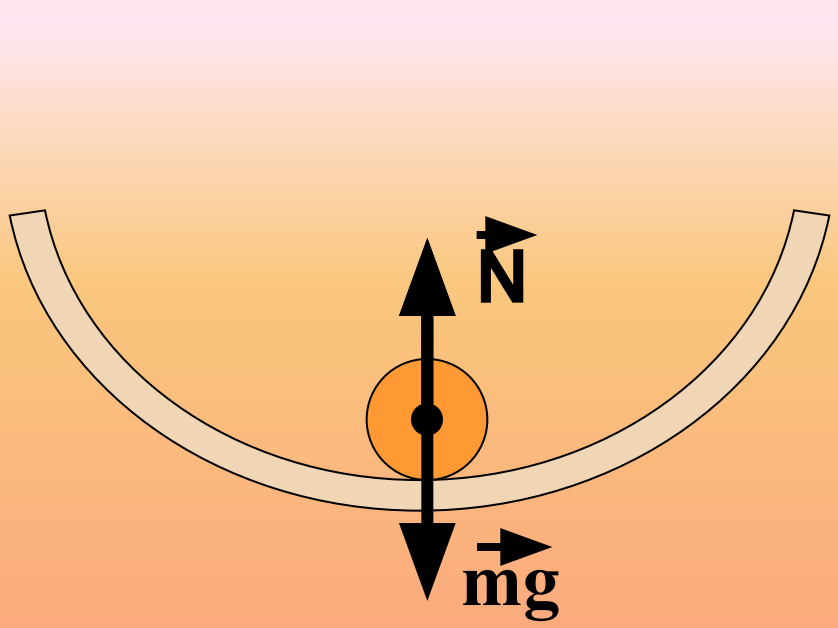
- **Система должна находится в устойчивом равновесии.**
- **Колеблющееся тело должно обладать достаточно большой инертностью.**
- **В системе должны быть достаточно малы силы сопротивления (трения).**

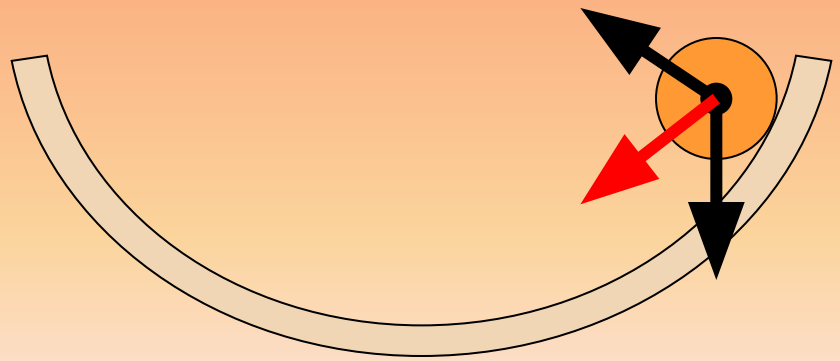
# Виды равновесия

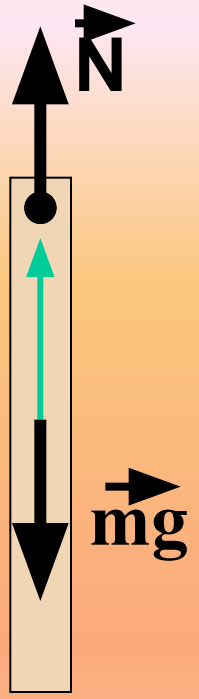
# Неустойчивое равновесие

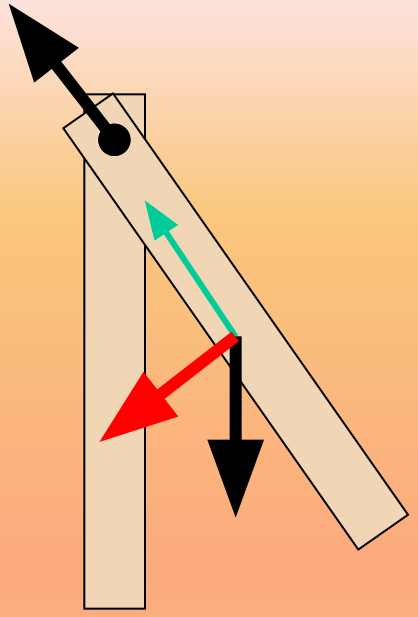


# Устойчивое равновесие

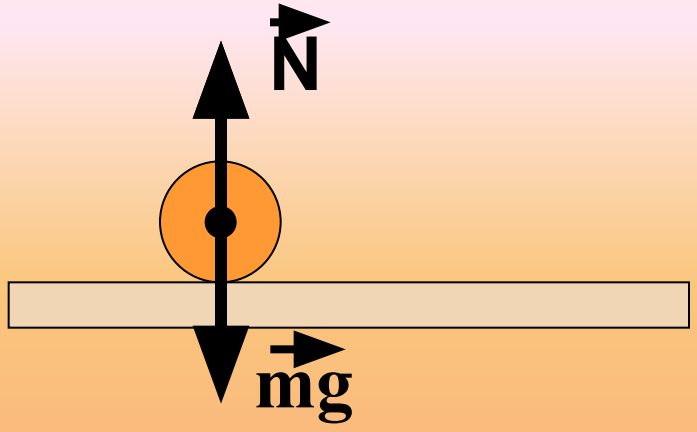


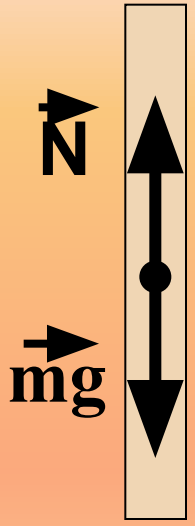



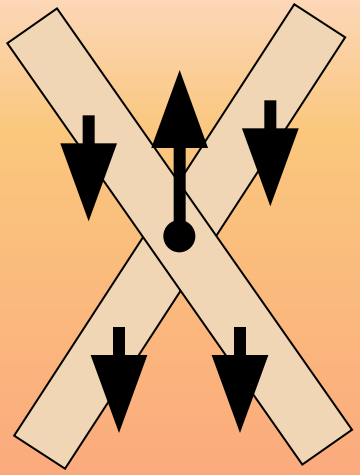


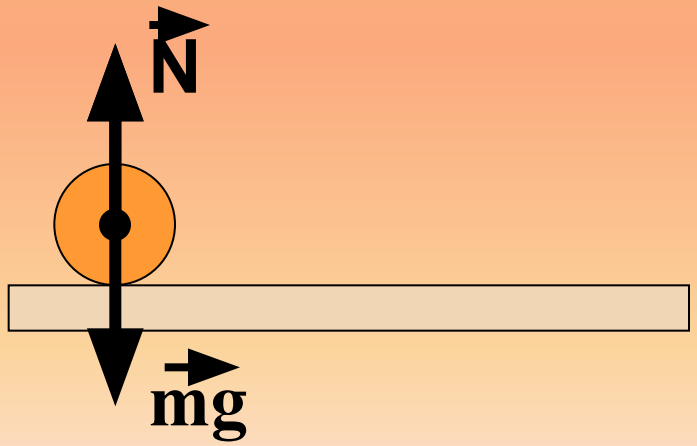



# Безразличное равновесие





**Гармонические колебания** величины $s$ описываются уравнением типа

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

$A$ — 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.**

$$\Delta\varphi = 0$$

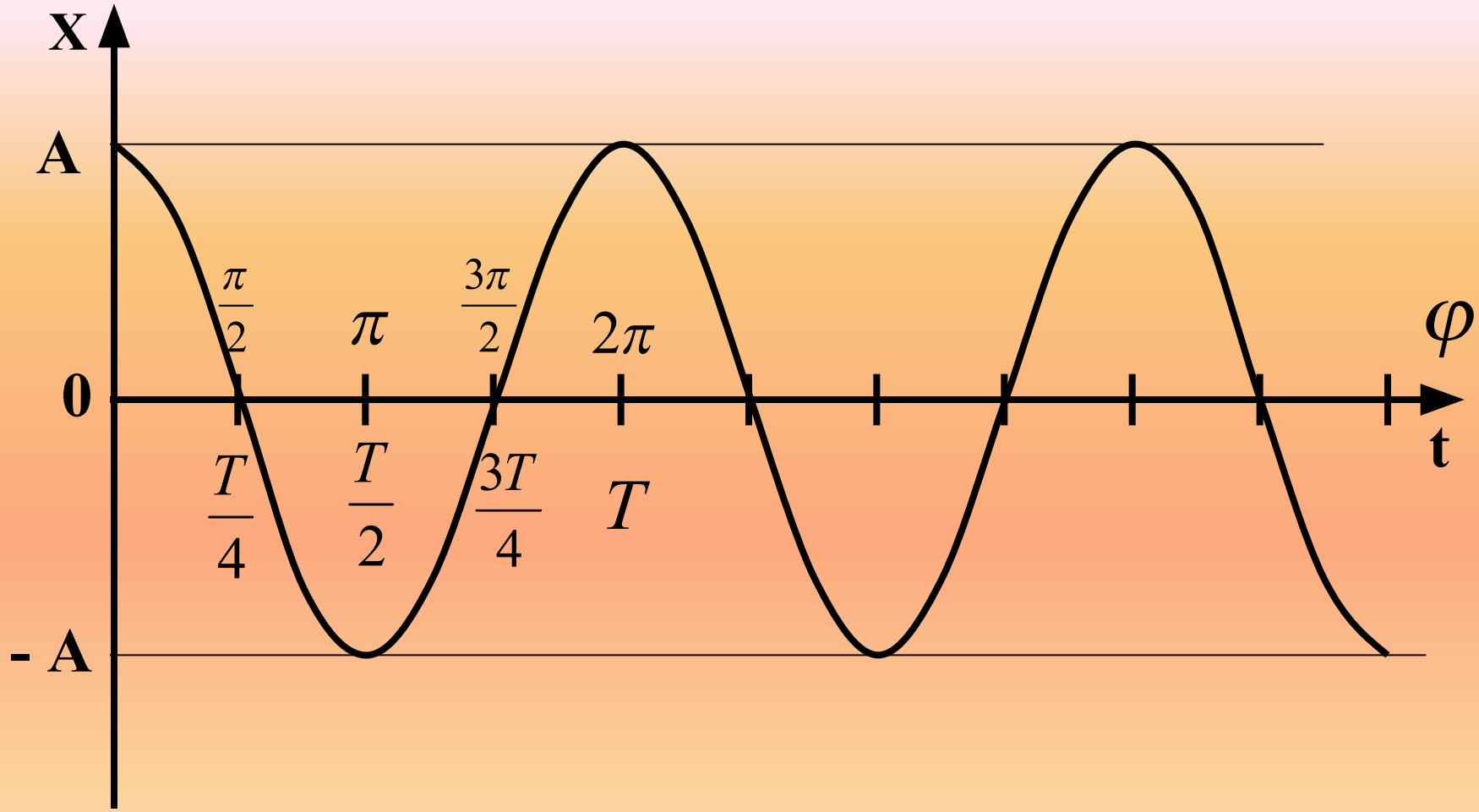
**Колебания происходят в противоположных фазах.**

$$\Delta\varphi = \pi$$

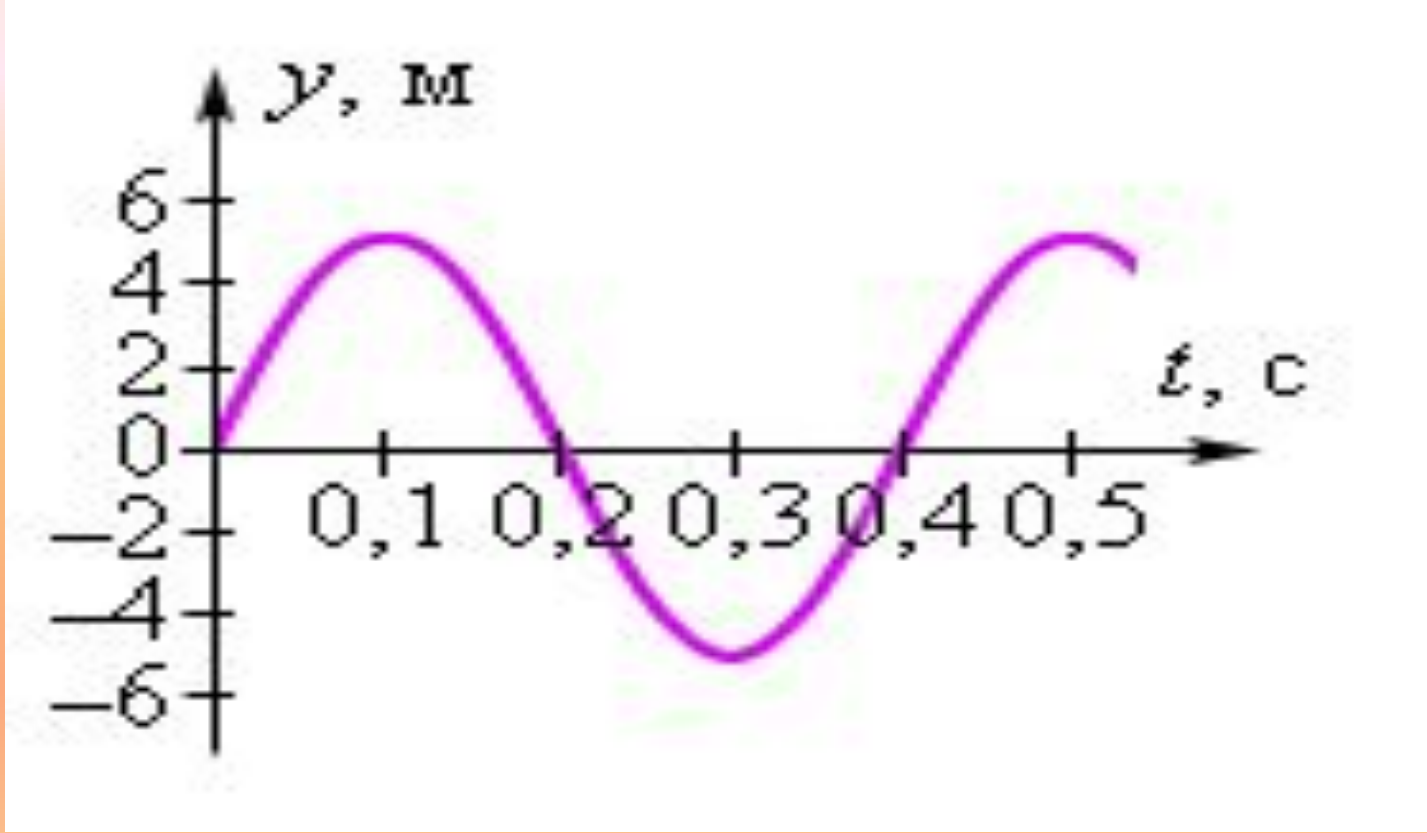
**Колебания происходят в различных фазах.**

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

# График колебаний



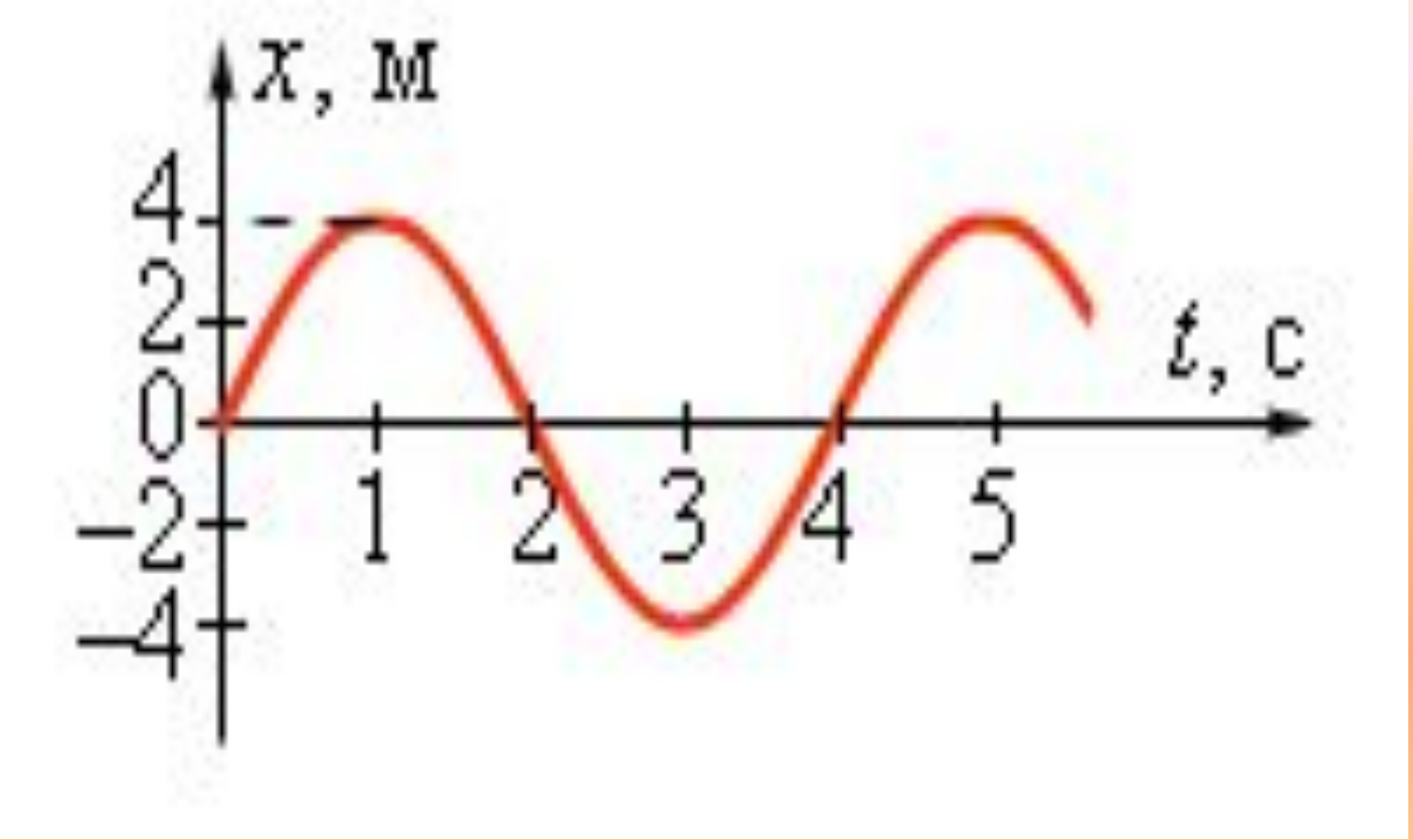
# Задание 1




**A-?  T-?  ν -?**

**Ответ: A= 5 м, T= 0,4 с, ν = 2,5 Гц.**

# Задание 2




**A-?  T-?  ν -?**

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

# Механические гармонические колебания

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

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

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

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

Из последнего выражения следует дифференциальное уравнение гармонических колебаний

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

(где $s = A\cos(\omega_0 t+\phi)$).

# Механические гармонические колебания

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

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

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

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

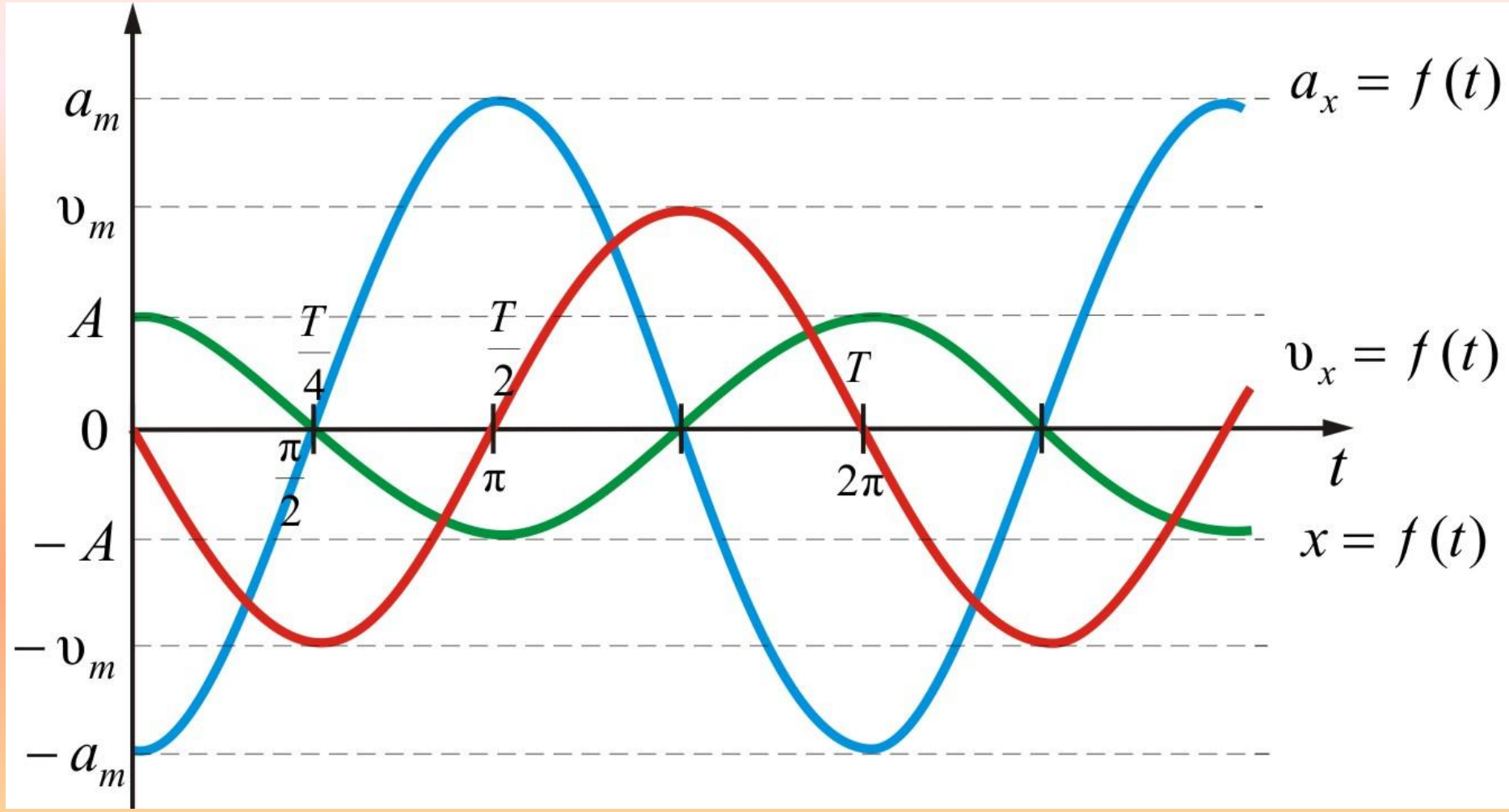
Кинетическая энергия материальной точки, совершающей прямолинейные гармонические колебания, равна

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

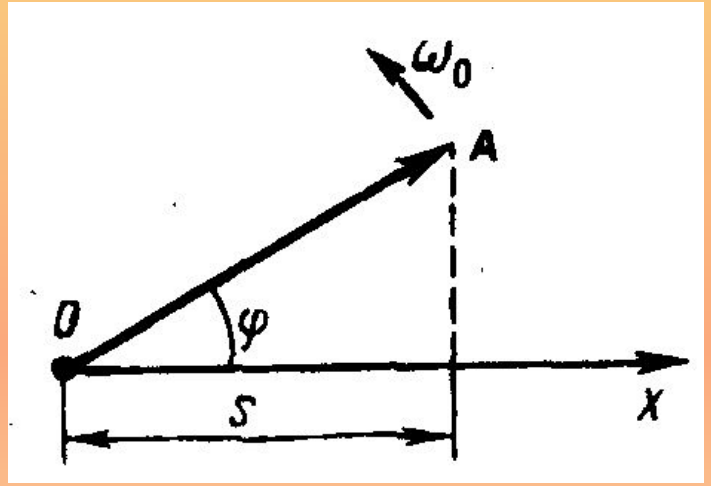
Потенциальная энергия материальной точки, совершающей гармонические колебания под действием упругой силы *F,* равна

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

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


$a_m$
$\upsilon_m$
$A$
0
$-A$
$-\upsilon_m$
$-a_m$
$\frac{T}{4}$
$\frac{T}{2}$
$T$
$\frac{\pi}{2}$
$\pi$
$2\pi$
$t$
$a_x = f(t)$
$\upsilon_x = f(t)$
$x = f(t)$

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




Если вектор А 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 $\boldsymbol{s=A\cos(\omega_0 t+\phi)}$.

# МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

## СВОБОДНЫЕ

**это колебания, происходящие под действием внутренних сил.**

## ВЫНУЖДЕННЫЕ

**это колебания, происходящие под действием внешних сил.**

# Колебания

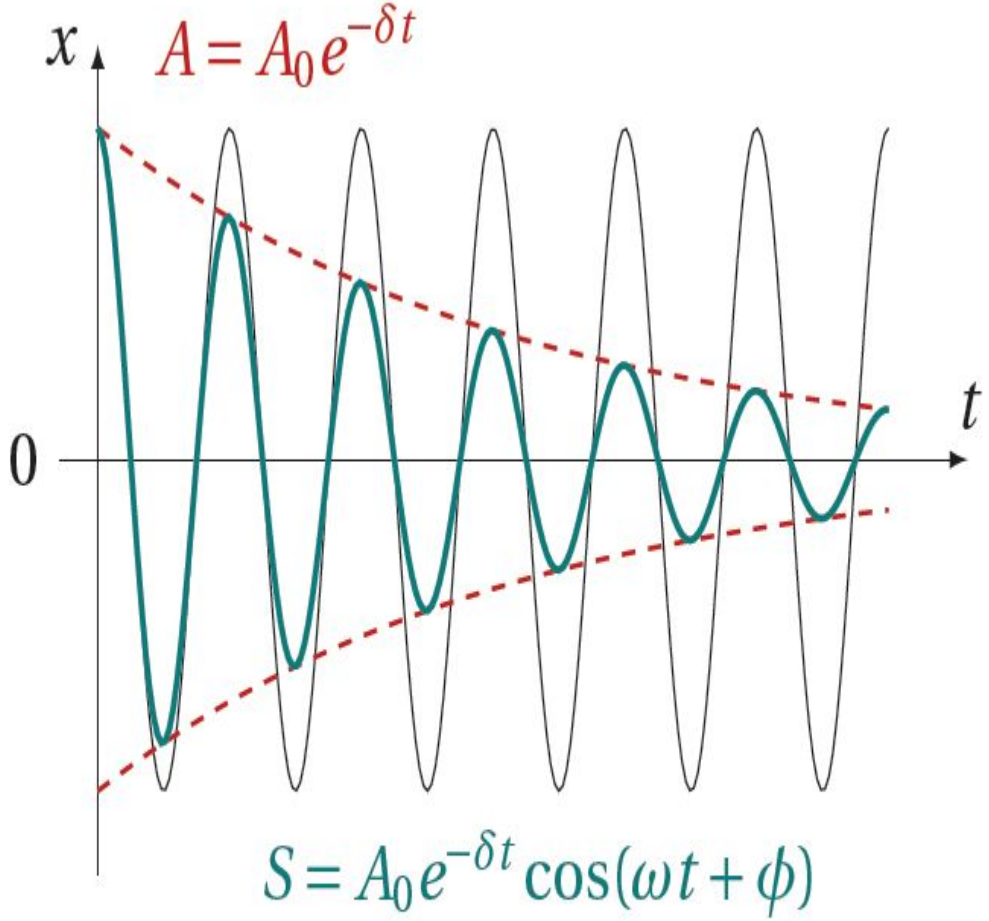
**Свободные (затухающие)**

**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

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

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.**

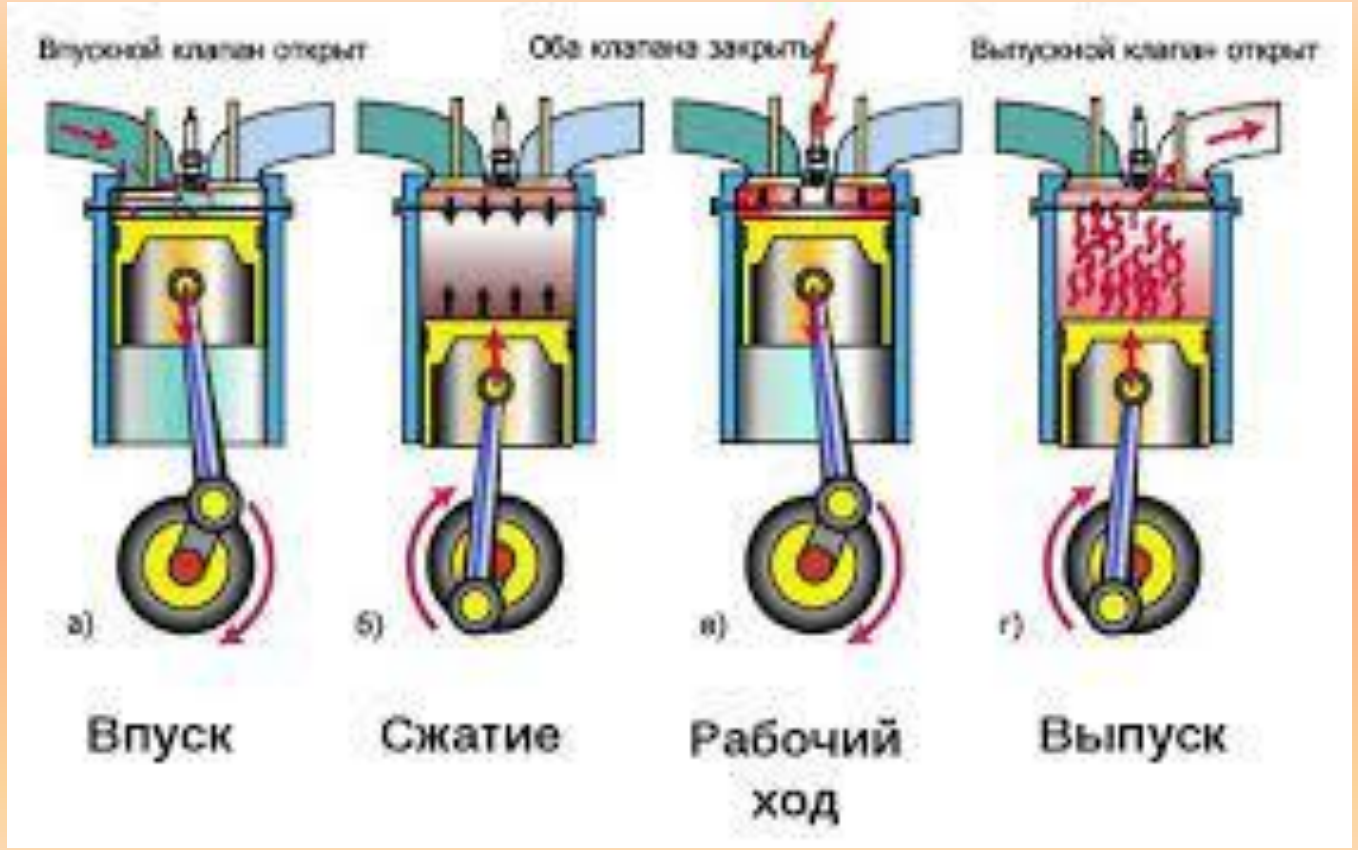
# Ребята качаются на каруселях.

# Акробат прыгает на батуте.

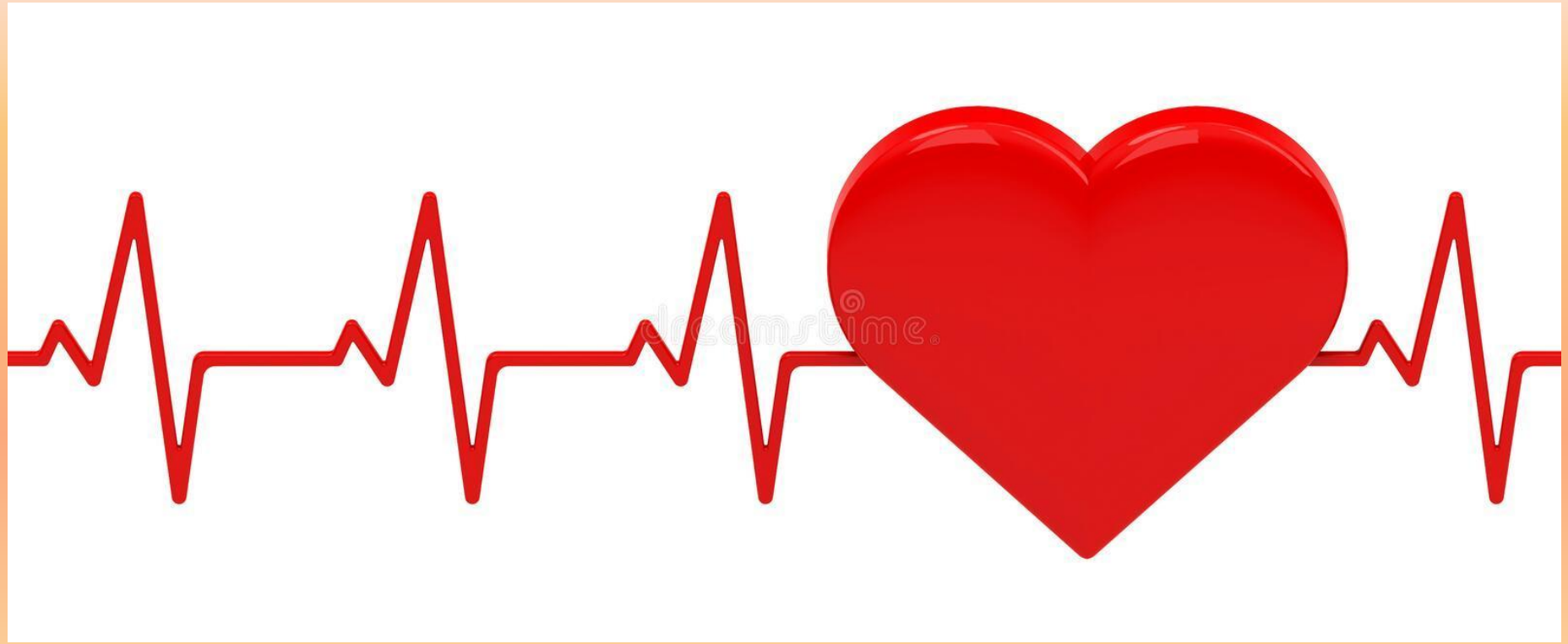
# Движение иглы в швейной машине.

# Бабочка машет крыльями.

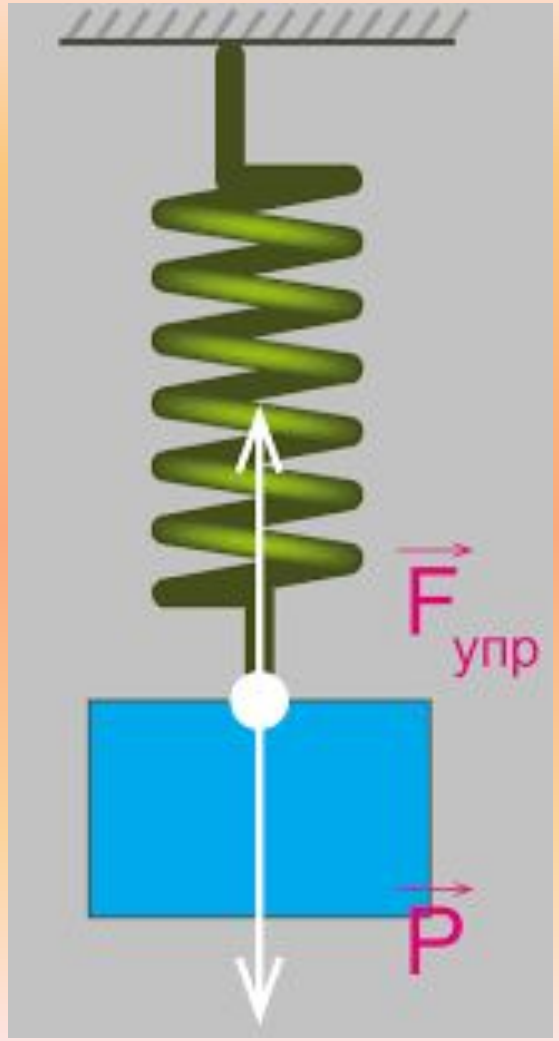
# Движение поршня в работающем двигателе внутреннего сгорания.



# Биение сердца.

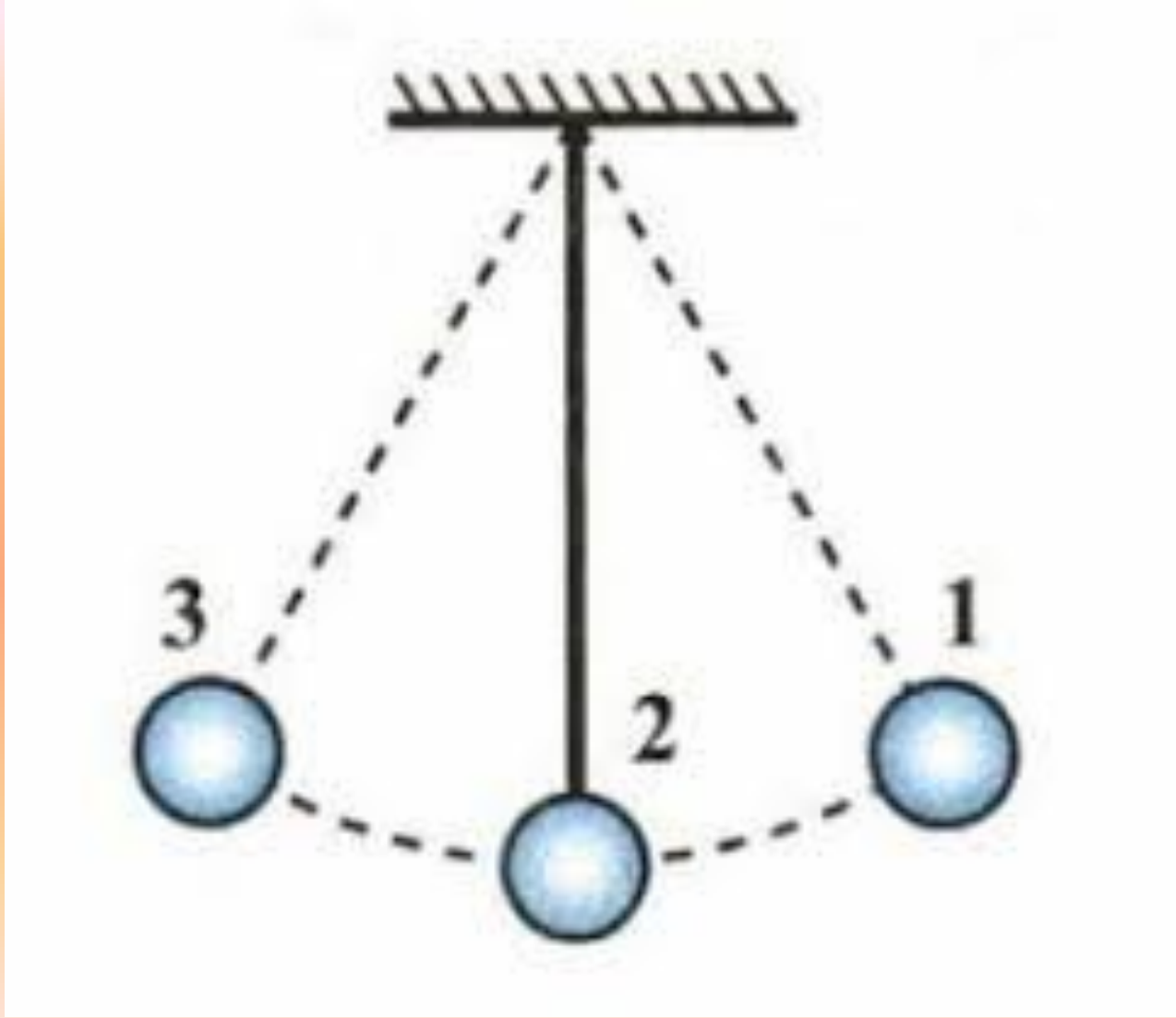


# Движение груза, подвешенного на пружине.

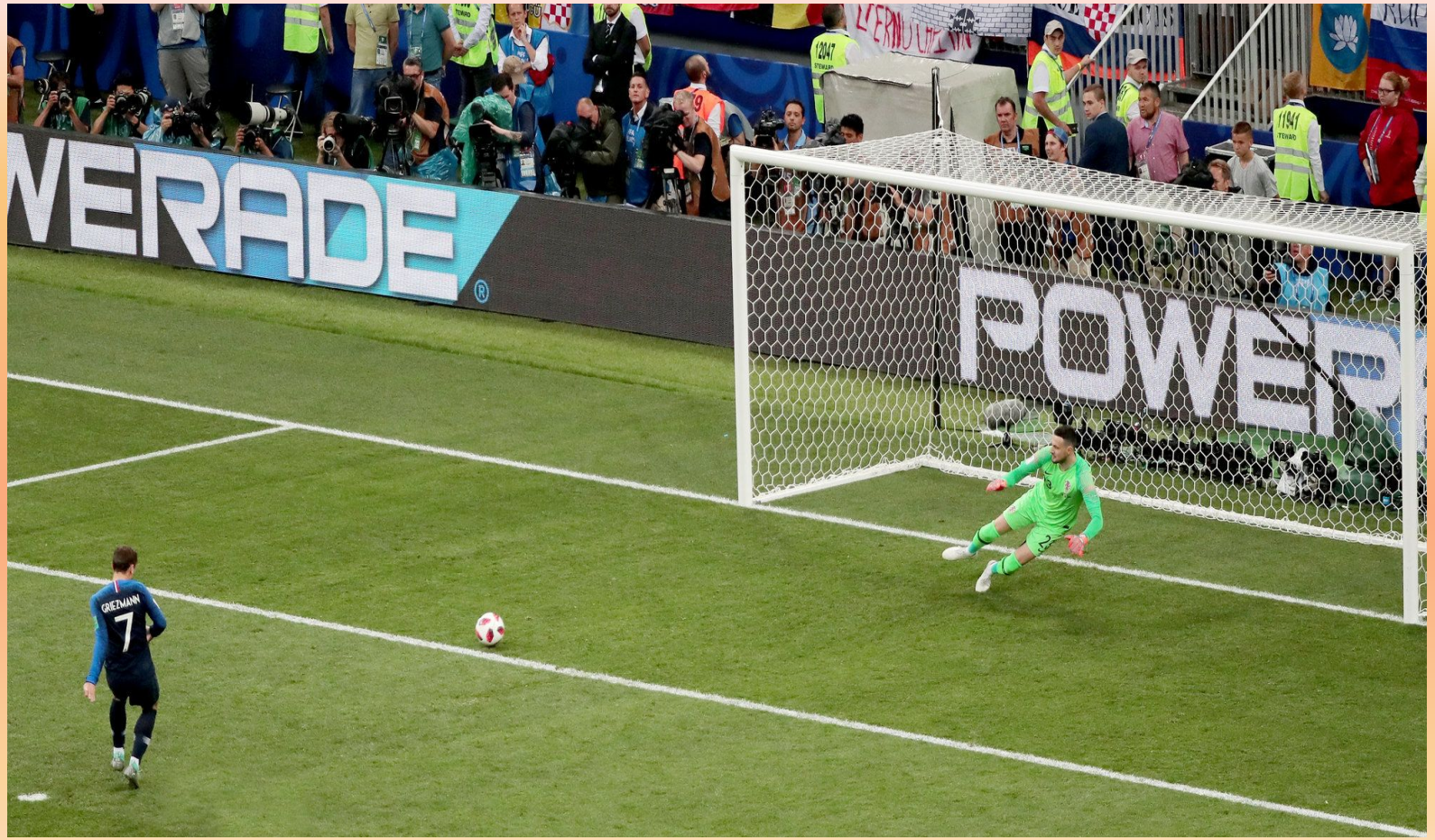


# Тряска автомобиля, движущегося по неровной дороге.

# 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 мониторизации валов, а для общих задач мониторизации состояния машинного оборудования лучше всего подходят ***сейсмические датчики***, с помощью которых замеряются абсолютные значения механических колебаний.

# Что такое осциллятор?

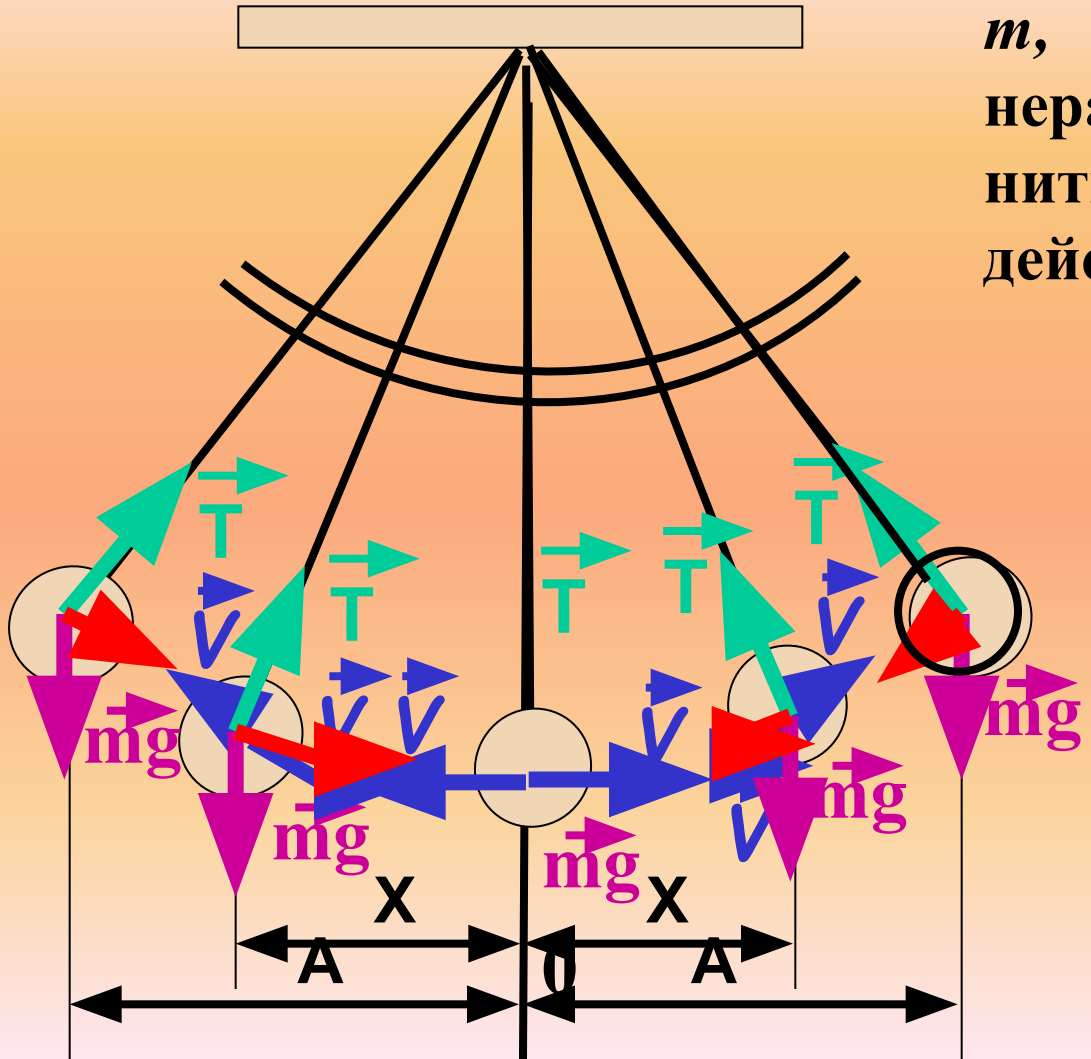
**Гармонический осциллятор** - система, совершающая колебания, описываемые уравнением:

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

## 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.**

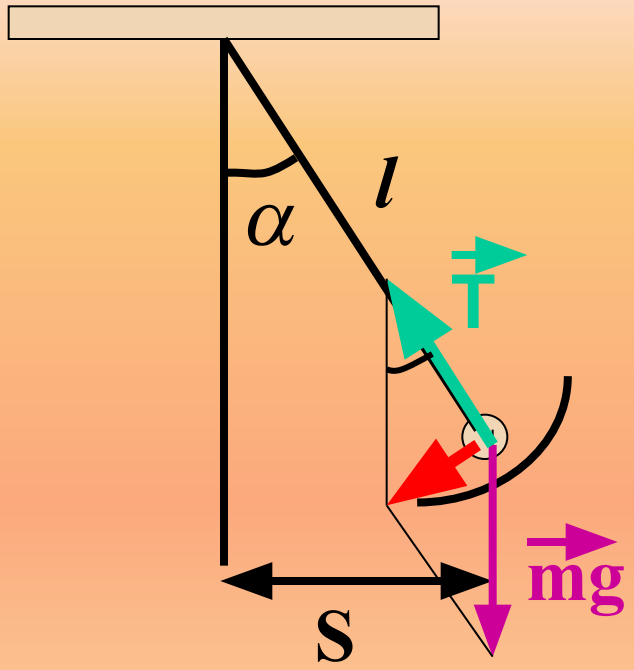
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

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

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

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

# Уравнение колебаний




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

$$F = -mg\sin\alpha \qquad tg\alpha \approx \sin\alpha$$

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

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

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

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

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

# 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

| № | L, м | t , c | n | T, c | ν , 1/c (Гц) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |

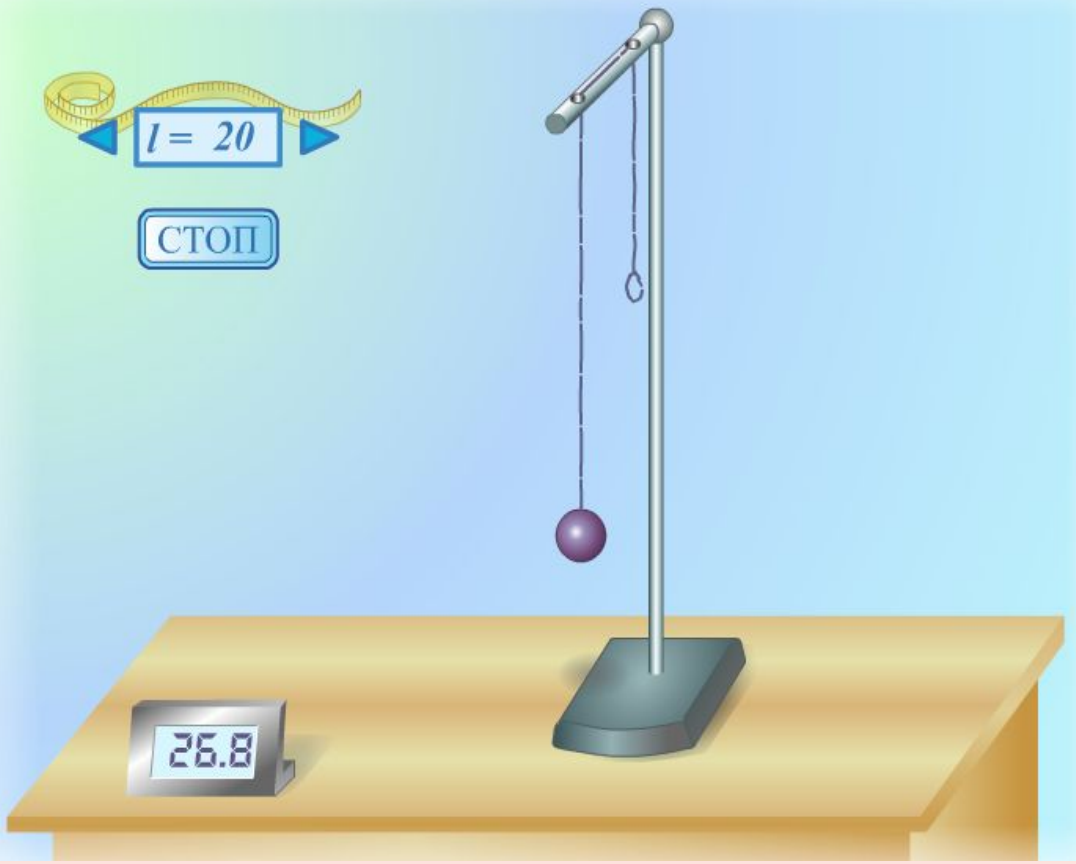
1. Установите длину нити около 20 – 30 см.

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.




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:**

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

**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.**

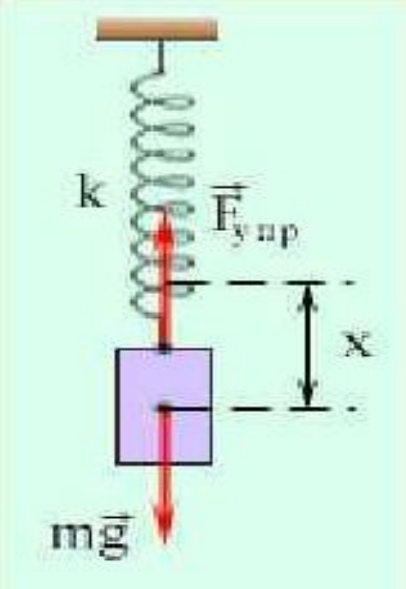
**3. Вспоминая все познания свои,**
**И физики мир постигая,**
**Я благодарен матушке судьбе,**
**Что колебания в мире есть и нам их всех не счесть!**

**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

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

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

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

$$\upsilon = 0$$

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

$$E_k = 0$$

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

$$E_{полн} = E_k + E_n$$

$$E_{полн} = \frac{kA^2}{2}$$

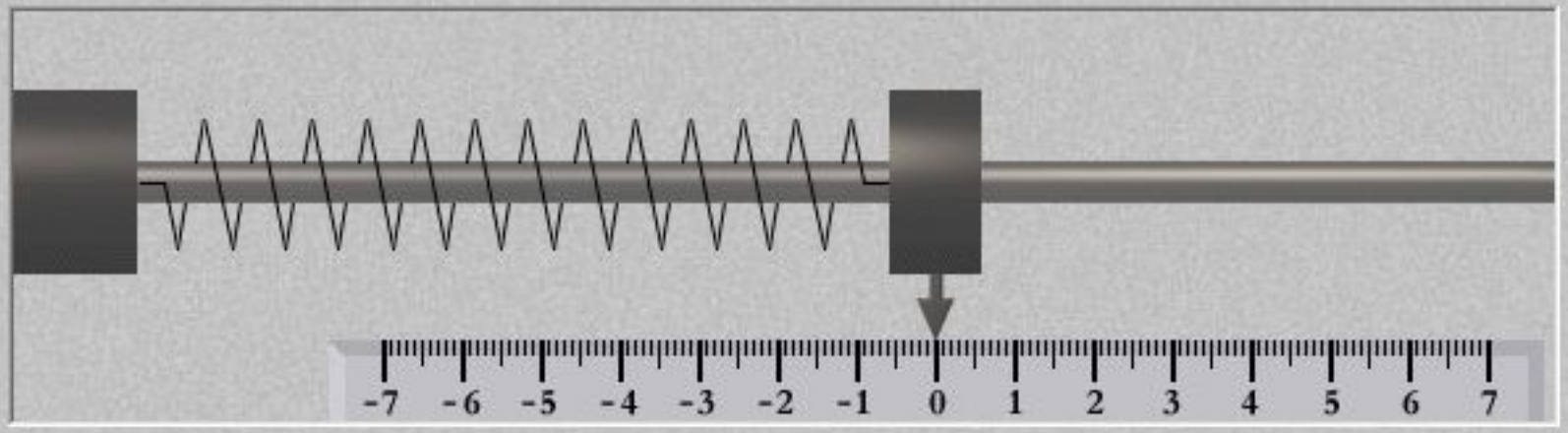
$$T = 2\pi\sqrt{m/k}.$$

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

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

Виртуальная физическая лаборатория

# Эксперимент




Тип колебаний:

Свободные | Вынужденные

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

ω = 1,0

Управление колебаниями:

Пуск | Сброс

ω =

Управление секундомером:

Пуск | Сброс

Установите коэффициент затухания:

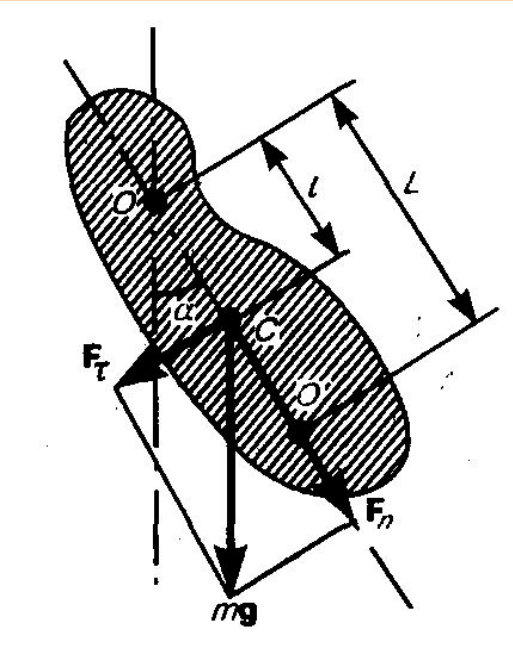
β =

$\beta_1$ $\beta_2$

t = 0,0

Ход работы | OK

**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.




$$M = Je = J\ddot{\alpha} = F_\tau l = -mgl\sin\alpha \approx -mgl\alpha,$$

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

$$\omega_0 = \sqrt{mgl/J}, \qquad \ddot{\alpha} + \omega_0^2\alpha = 0,$$

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

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

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

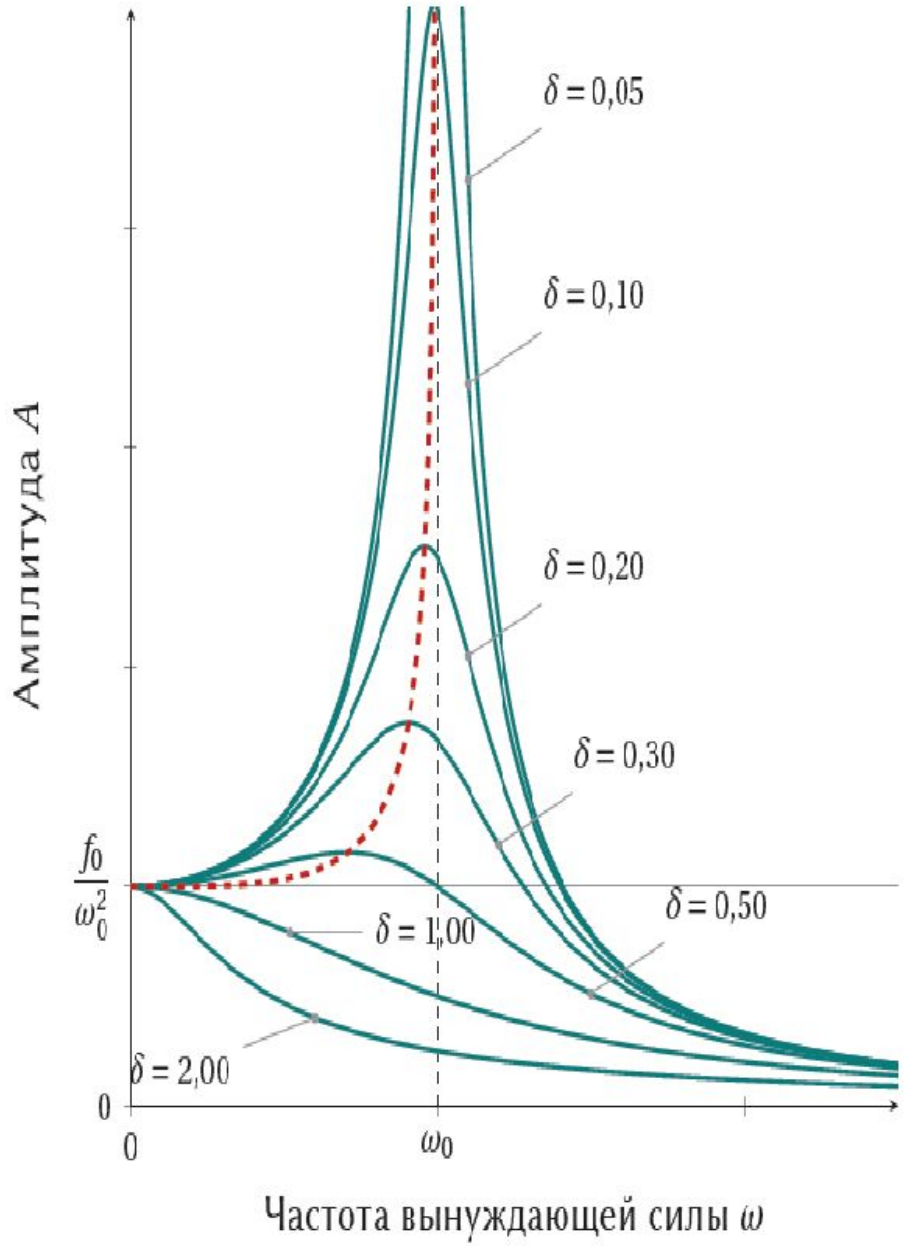
# Исследование колебаний физического маятника (стержень)

# *Резонанс*

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

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

$$\omega_{рез} = \omega_0$$



# Вред и польза резонанса

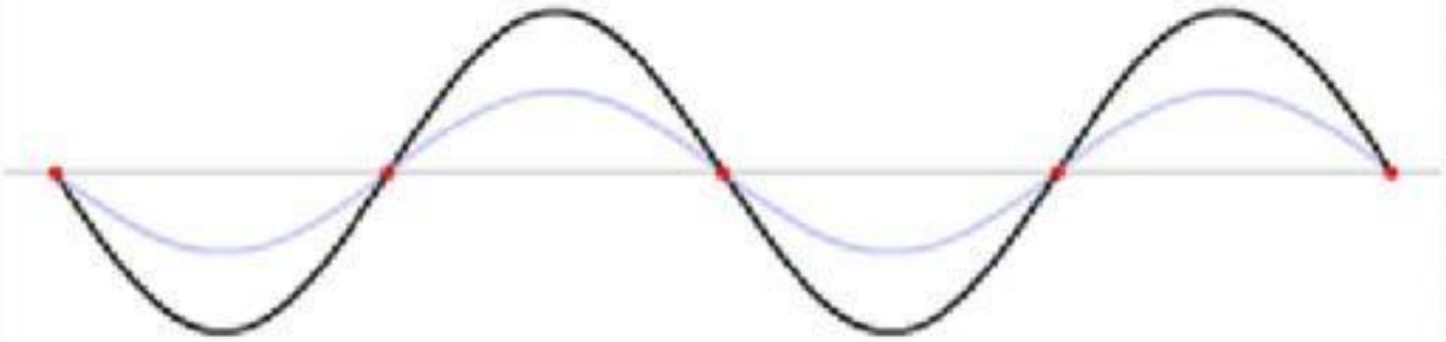
- **Использование:**
- Резонаторы в музыкальных инструментах.
- Магнитно-резонансное обследование организма.
- Раскачивание качелей.
- Раскачивание языка колокола.
- Резонансные замки и ключи.

- **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

Направление колебаний совпадает с направлением распространения волны

## поперечные

Направление колебаний перпендикулярно направлению распространения волны

MyShared

# 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: $u = \lambda\nu$.

**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.

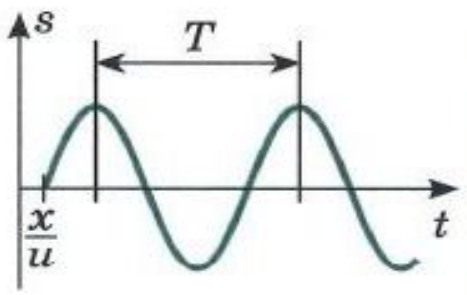
## УРАВНЕНИЕ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ

**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:

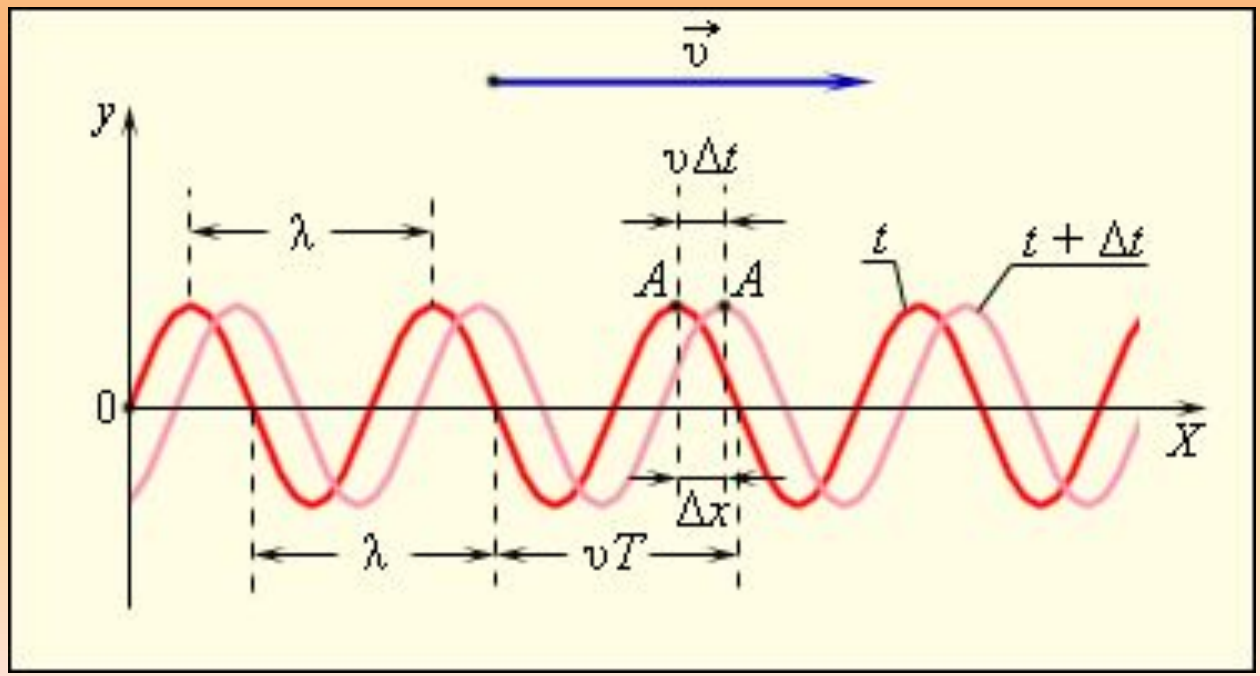
$$s = s_m \sin \omega \left(t - \frac{x}{u}\right).$$



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

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

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



$\upsilon$ СКОРОСТЬ ВОЛНЫ

$T$ ПЕРИОД

$\lambda$ ДЛИНА ВОЛНЫ

$\nu$ ЧАСТОТА

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

$$\upsilon = \lambda \cdot \nu$$

$$\lambda = \upsilon \cdot T$$

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

# ЗВУКОВЫЕ ВОЛНЫ

**Источник звука –**
колеблющееся тело (20 Гц < ν < 20 000 Гц)
**инфразвук** (ν < 20 Гц) **ультразвук** (ν > 20 000 Гц)

Характеристики звука:

**Высота звука** зависит от частоты (ν) 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

$\upsilon_{зв.}$ зависит от свойств среды, в которой распространяется звук
(в воздухе ≈ 340 м/с, в воде ≈ 1483 м/с, в стекле ≈ 5500 м/с)

## ЗВУКОВОЙ РЕЗОНАНС

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

## ОТРАЖЕНИЕ ЗВУКА. ЭХО

# Классификация звуковых волн

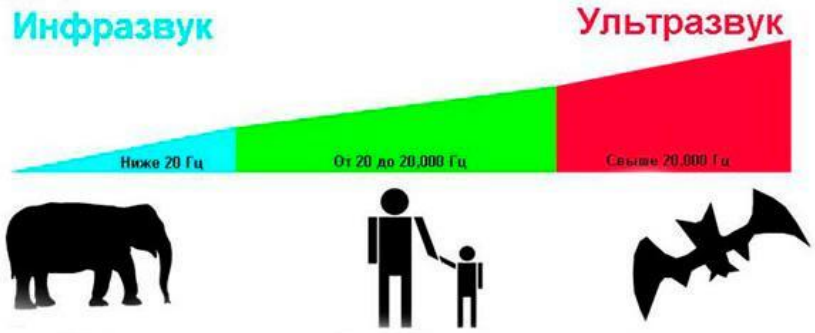
***Инфразвук*** – упругие колебания и волны с частотами, лежащими ниже области слышимых человеком частот.

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

***Гиперзвук*** - это упругие волны с частотами от 109 до 1012 – 1013 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.



# 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=Z1lRIiJNbDA

https://www.youtube.com/watch?v=3gwFrEoo8QQ

# СПАСИБО
# ЗА ВНИМАНИЕ!