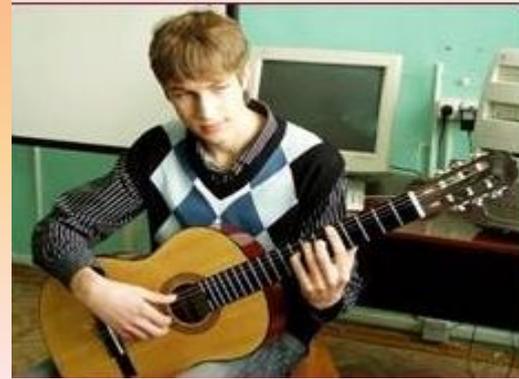


Лекция 3

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.**

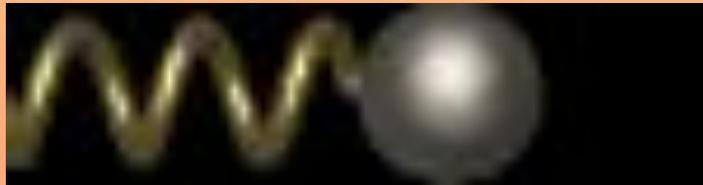
ЗАДАЧИ ЗАНЯТИЯ:

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

ПЛАН:

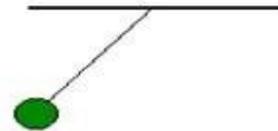
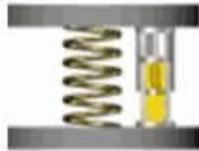
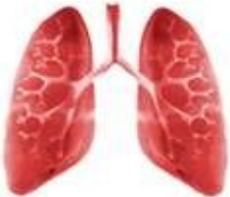
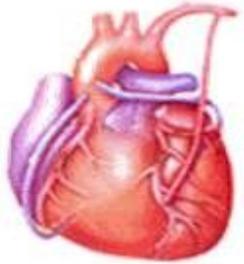
1. Гармонические колебания и их характеристики.
2. Затухающие и вынужденные колебания.
3. Гармонические осцилляторы.
4. Резонанс.
5. Механические волны.
6. Звуковые волны.

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?

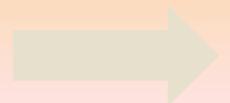
Простейшим типом колебаний являются *гармонические колебания* — колебания, при которых колеблющаяся величина изменяется со временем по закону синуса (косинуса).

Две причины рассмотрения гармонических колебаний:

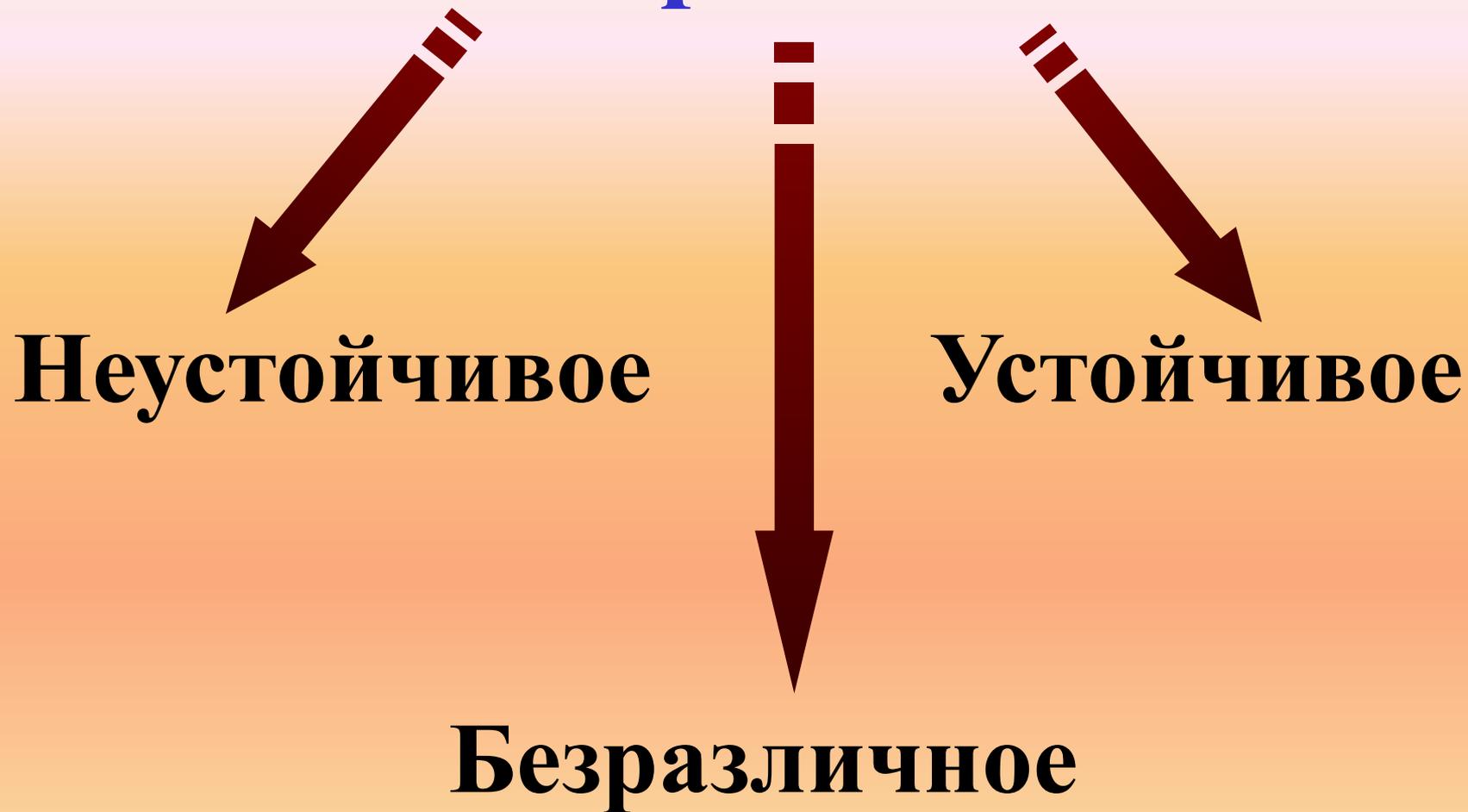
- 1) колебания, встречающиеся в природе и технике, часто имеют характер, близкий к гармоническому;
- 2) различные периодические процессы (процессы, повторяющиеся через равные промежутки времени) можно представить как наложение гармонических колебаний.

Условия возникновения колебаний

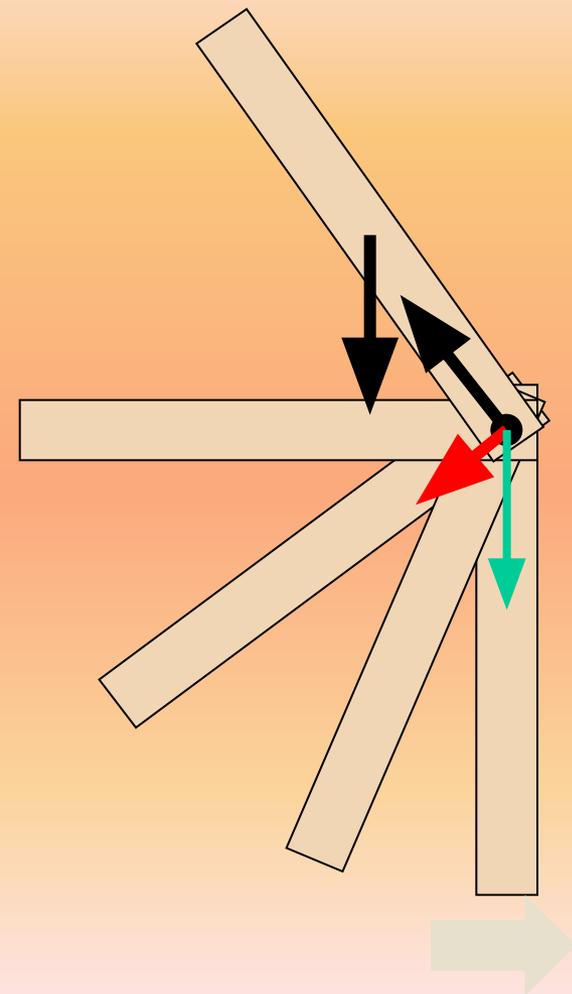
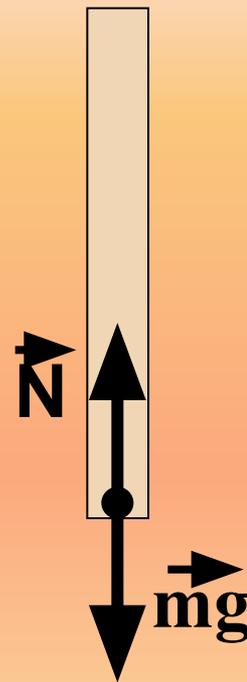
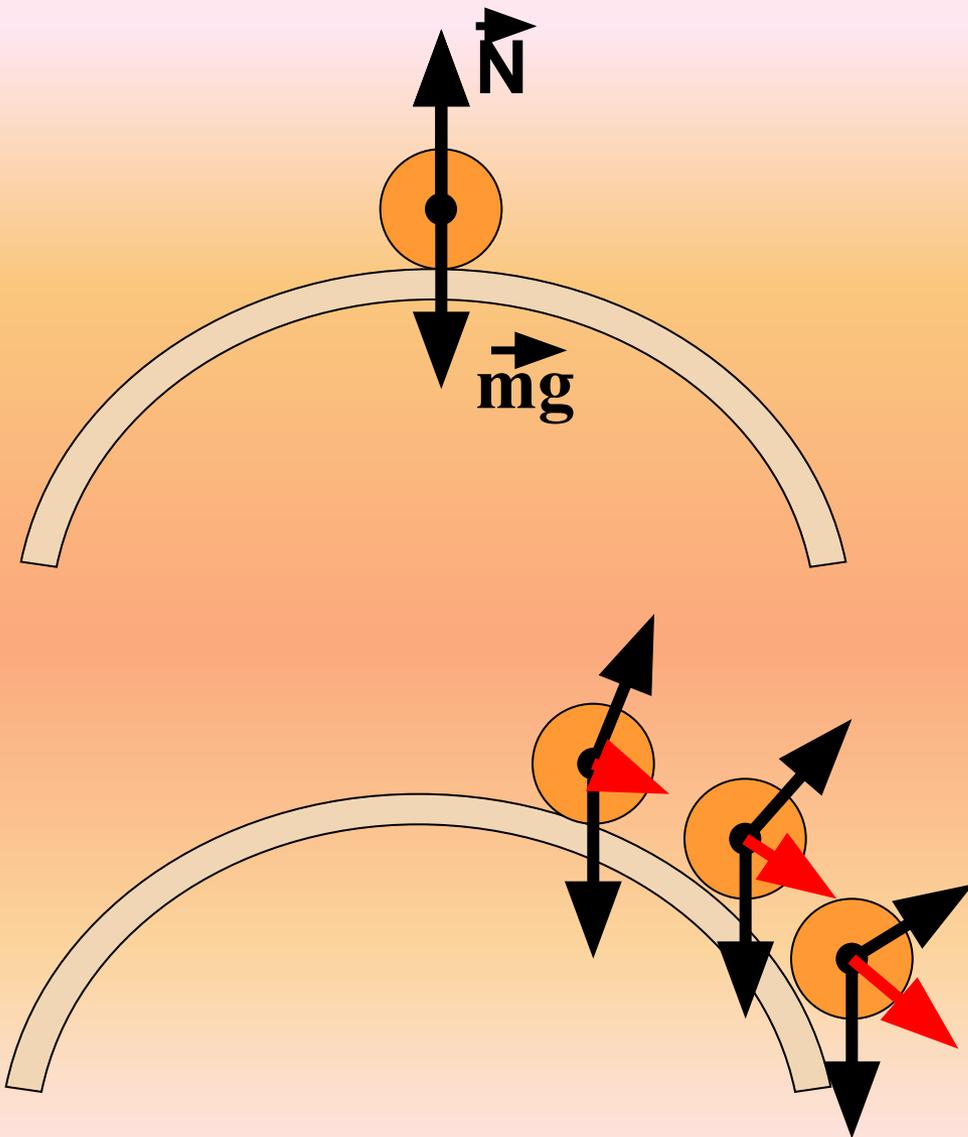
- Система должна находиться в устойчивом равновесии.
- Колеблющееся тело должно обладать достаточно большой инертностью.
- В системе должны быть достаточно малы силы сопротивления (трения).



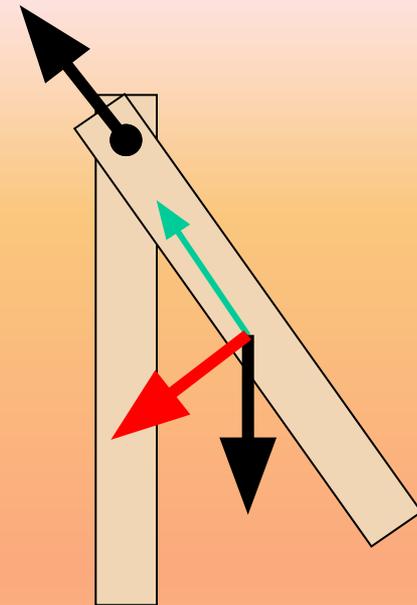
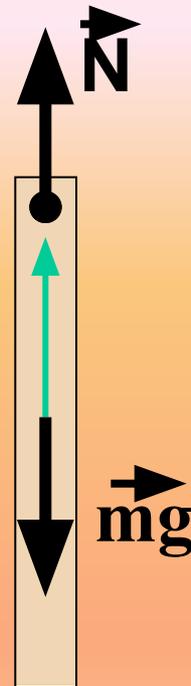
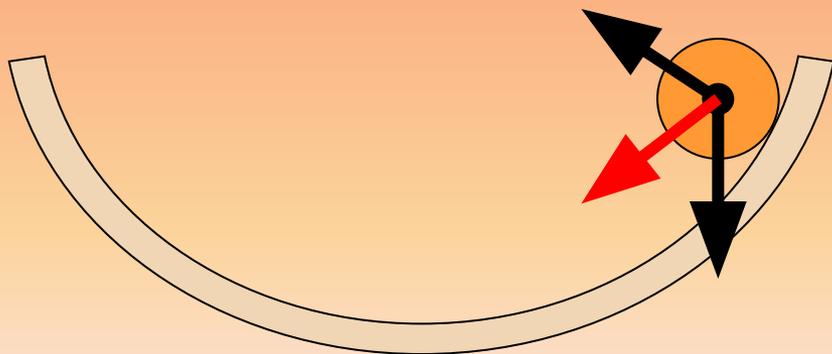
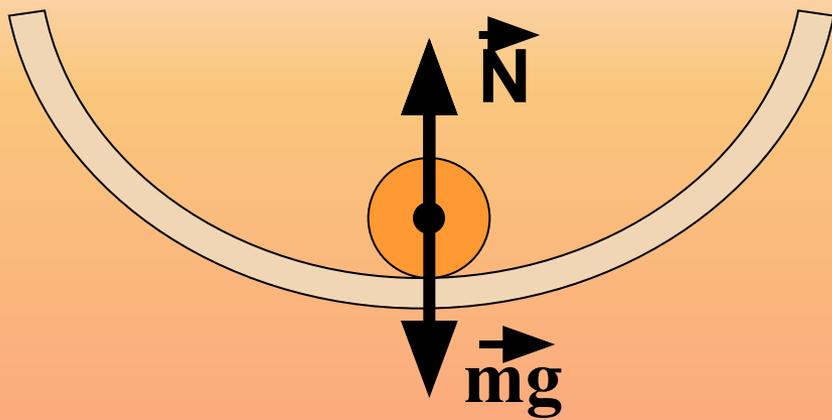
Виды равновесия



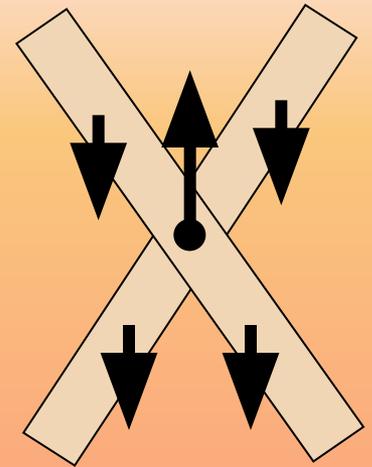
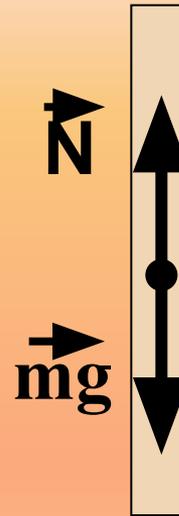
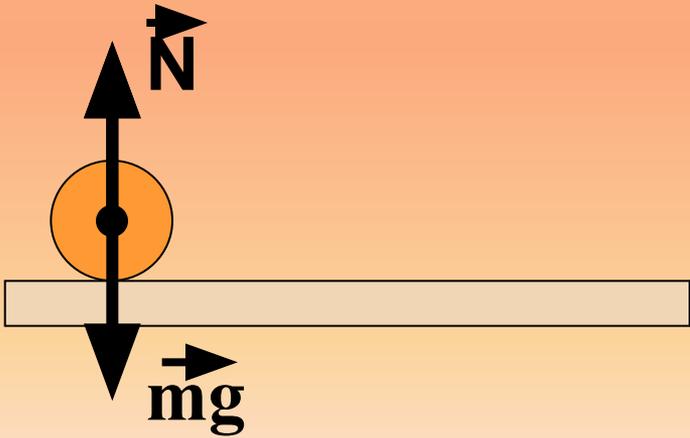
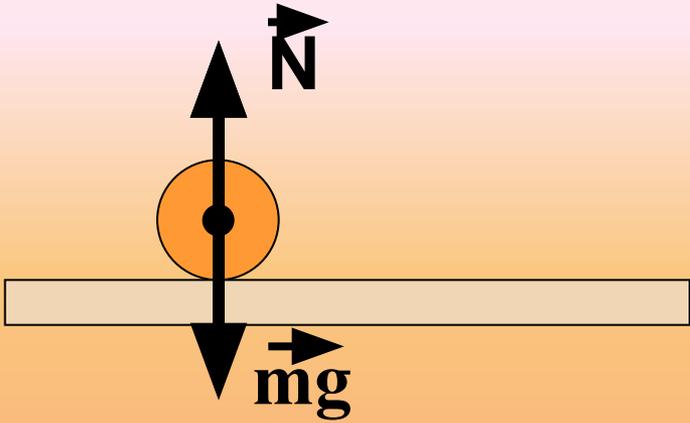
Неустойчивое равновесие



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*;

ω_0 — *круговая (циклическая) частота*;

ϕ — 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,

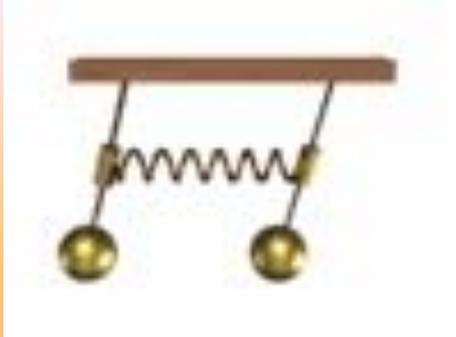
$$\nu = 1/T,$$

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

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

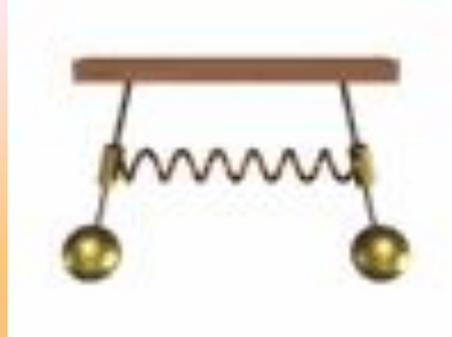
Единица частоты — **герц (Гц)**: 1 Гц — частота периодического процесса, при которой за 1 с совершается один цикл процесса.

Фаза колебаний



**Колебания
происходят в
одинаковых
фазах.**

$$\Delta\varphi = 0$$



**Колебания
происходят в
противоположных
фазах.**

$$\Delta\varphi = \pi$$

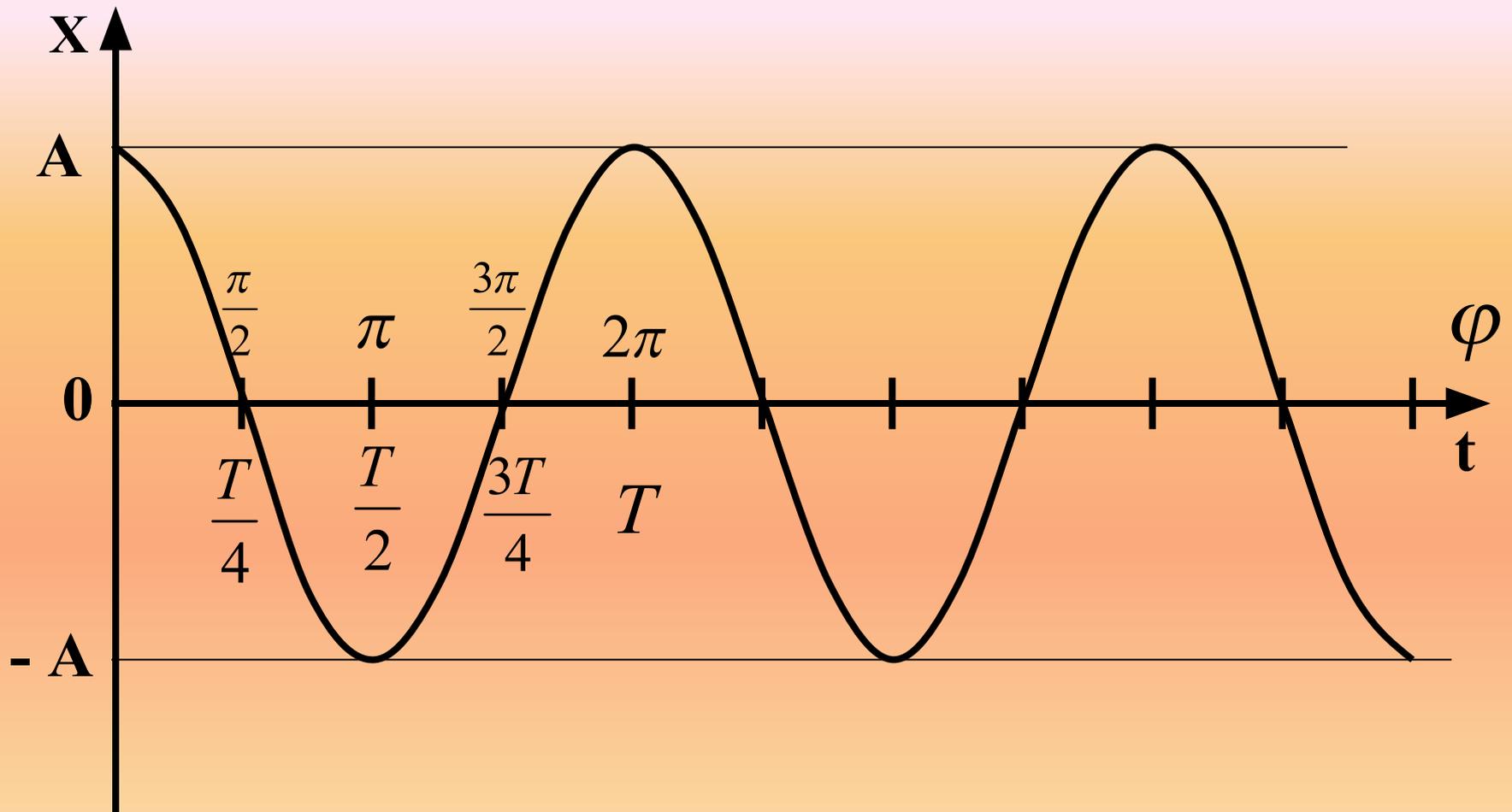


**Колебания
происходят в
различных
фазах.**

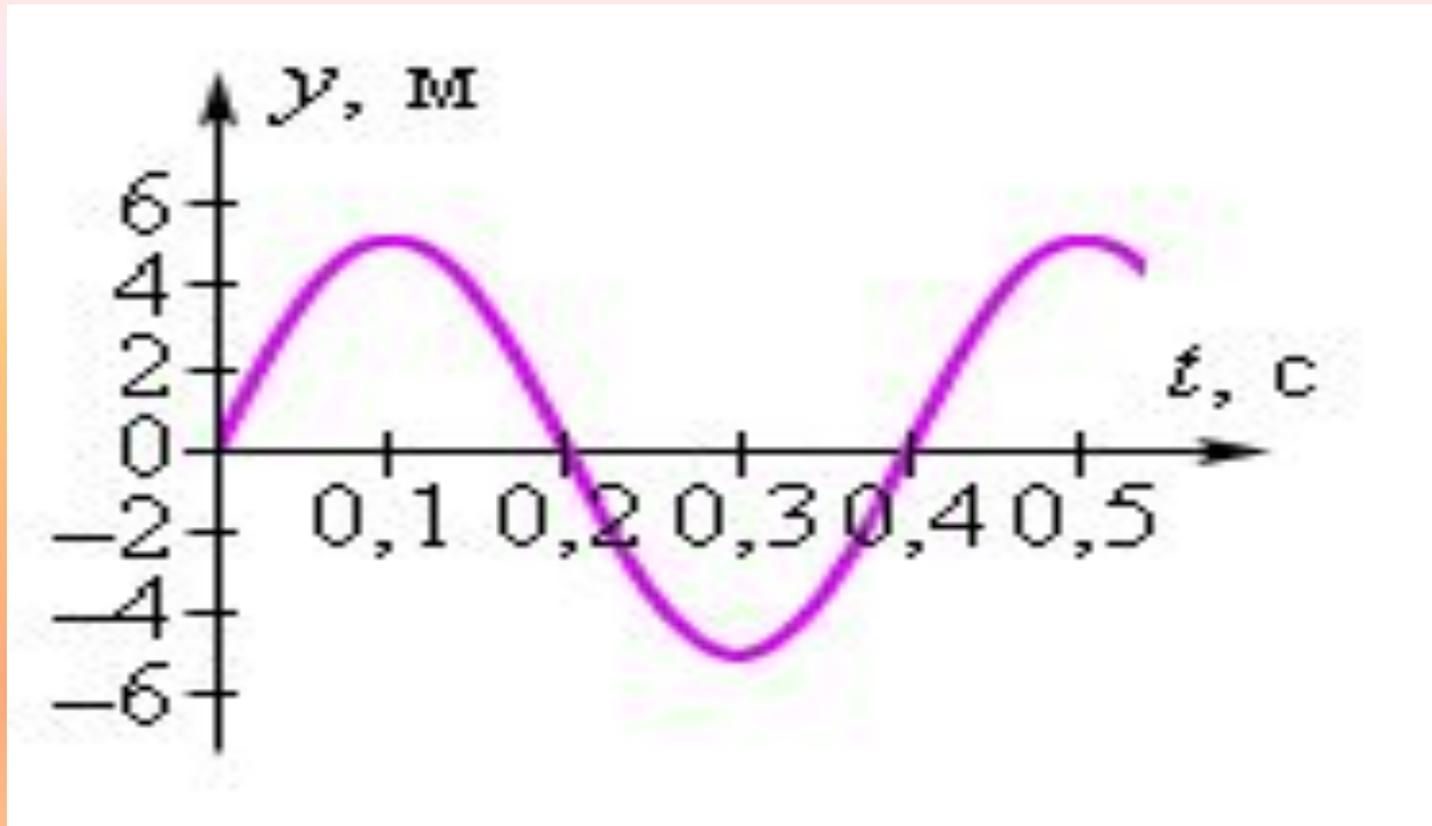
$$\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}$$



График колебаний



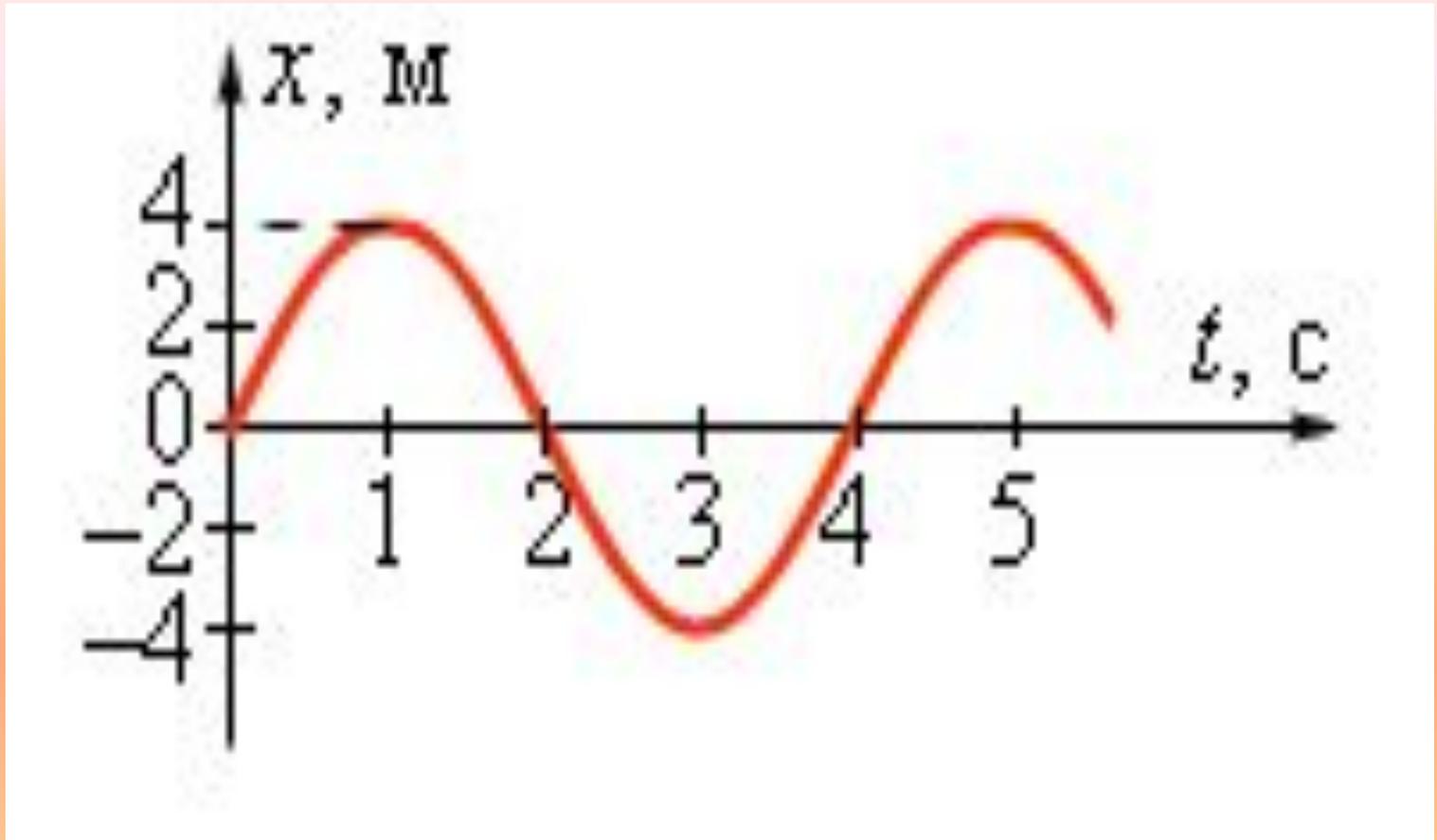
Задание 1



A-? T-? ν -?

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

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

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

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

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

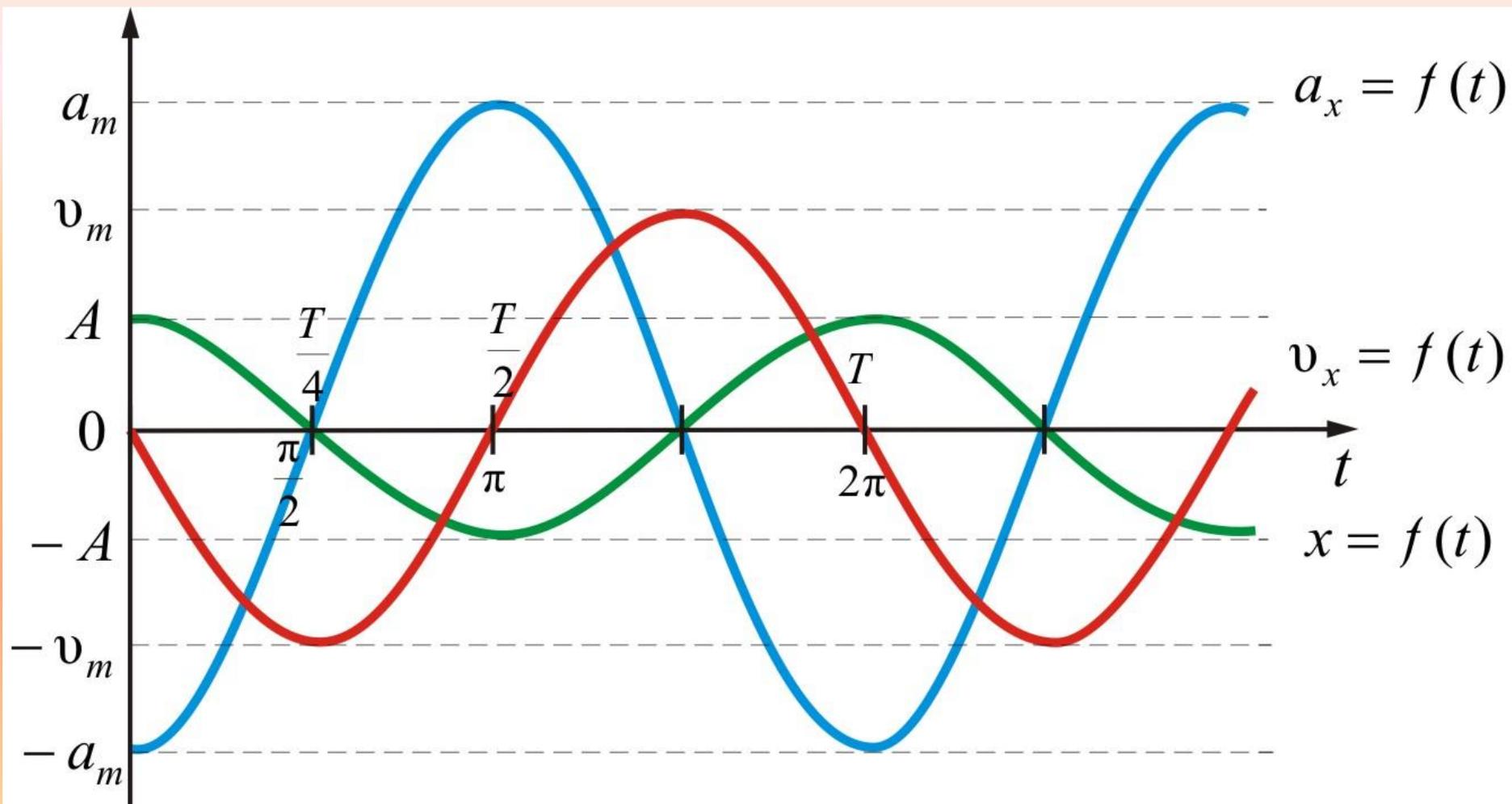
Кинетическая энергия материальной точки, совершающей прямолинейные гармонические колебания, равна

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

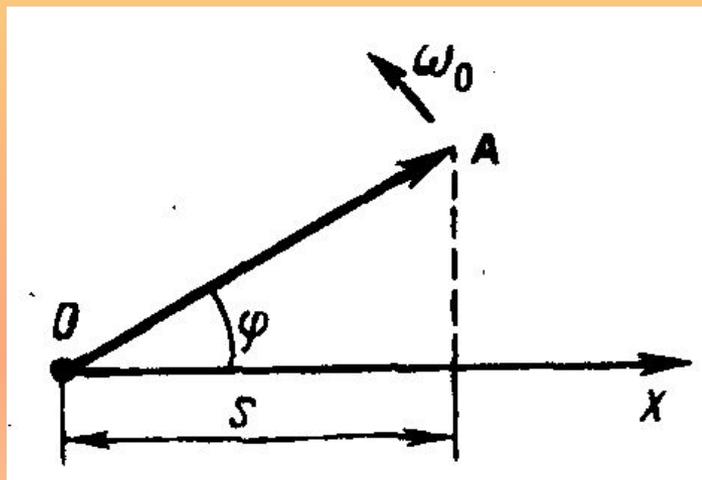
Потенциальная энергия материальной точки, совершающей гармонические колебания под действием упругой силы F , равна

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

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



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



Если вектор A привести во вращение с угловой скоростью ω_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)

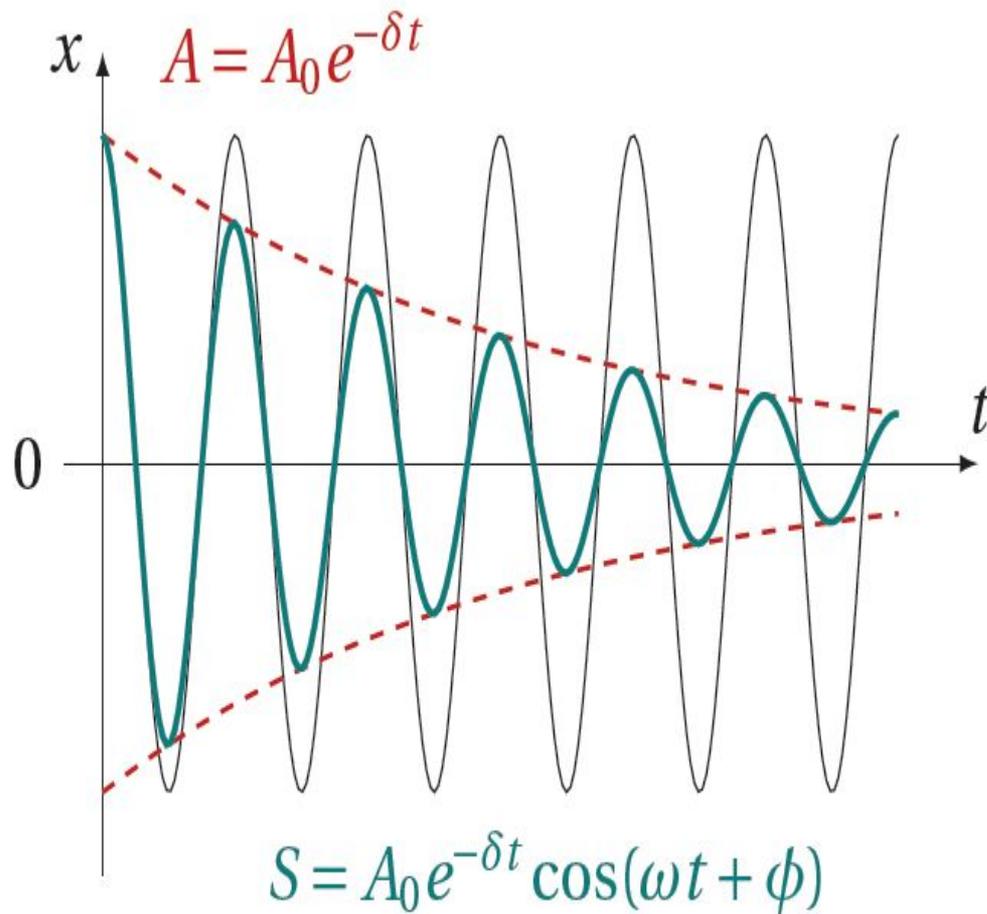


Свободные (затухающие) колебания

Затухающие колебания

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

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



δ – коэффициент затухания,
 ω_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.



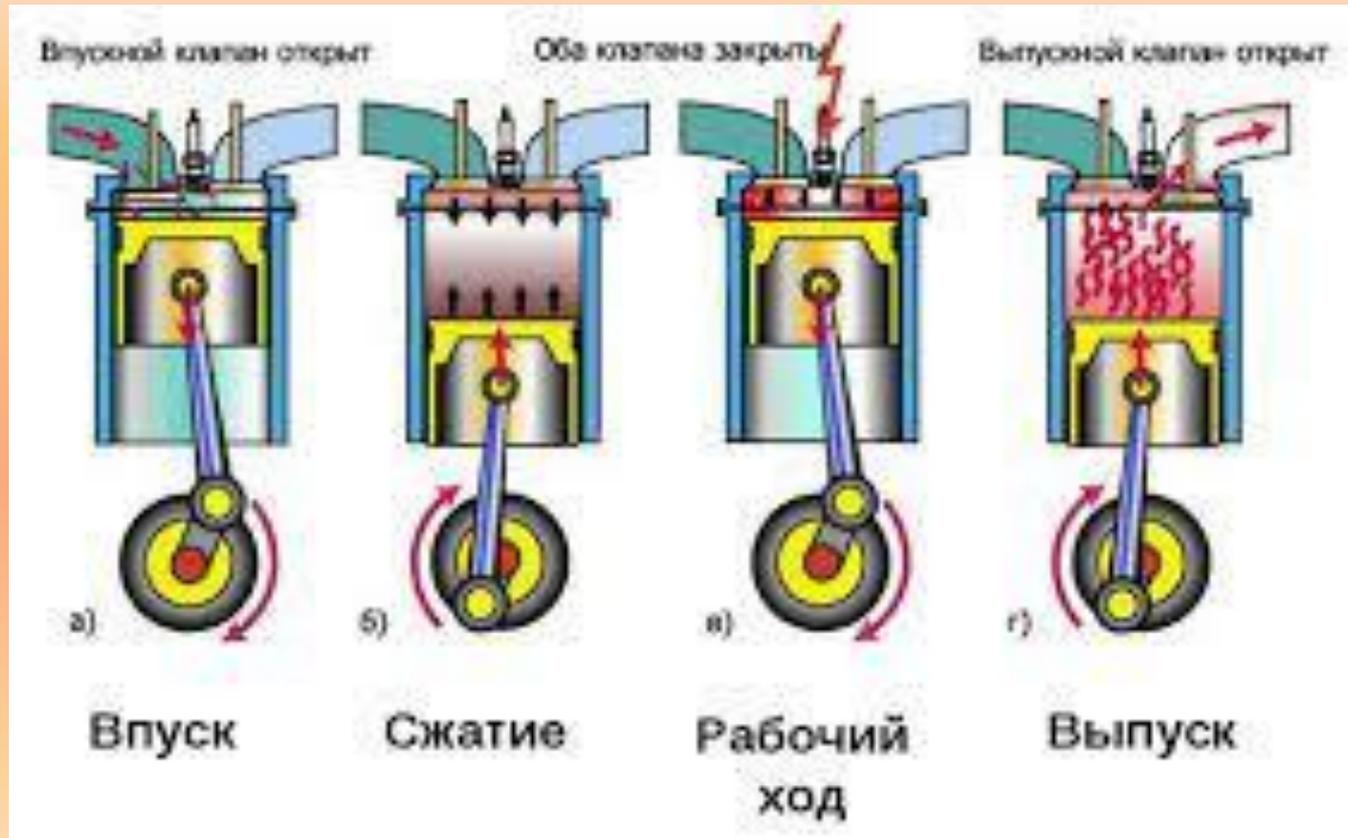
Движение иглы в швейной машине.



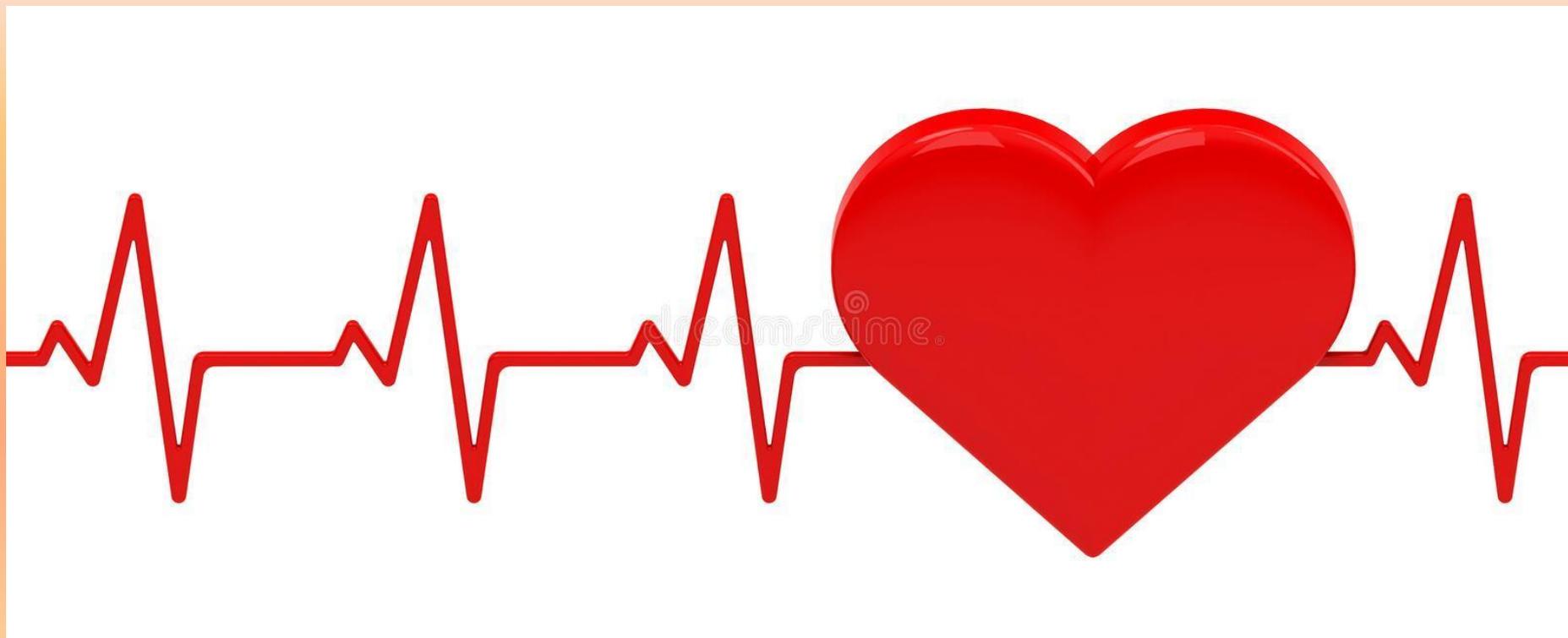
Бабочка машет крыльями.



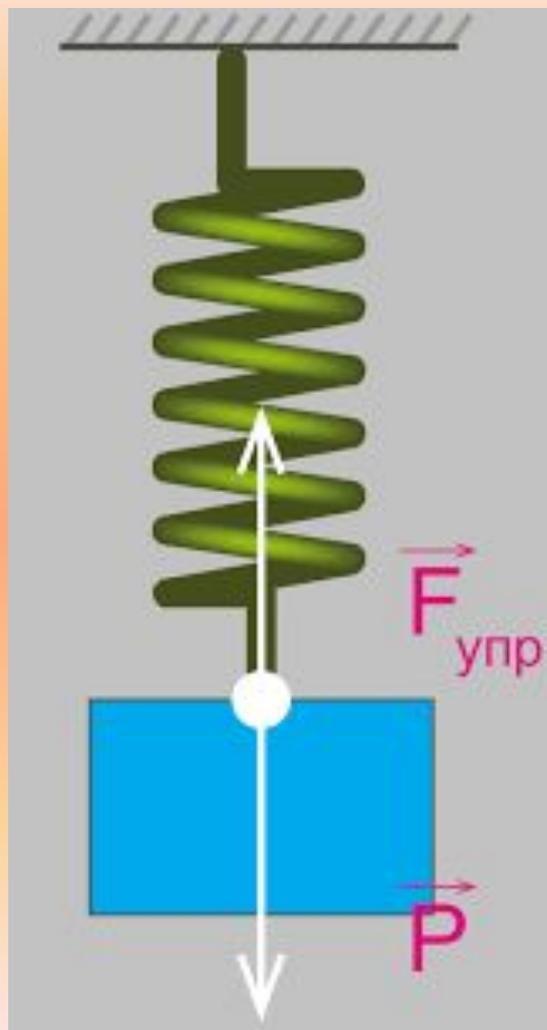
Движение поршня в работающем двигателе внутреннего сгорания.



Биение сердца.



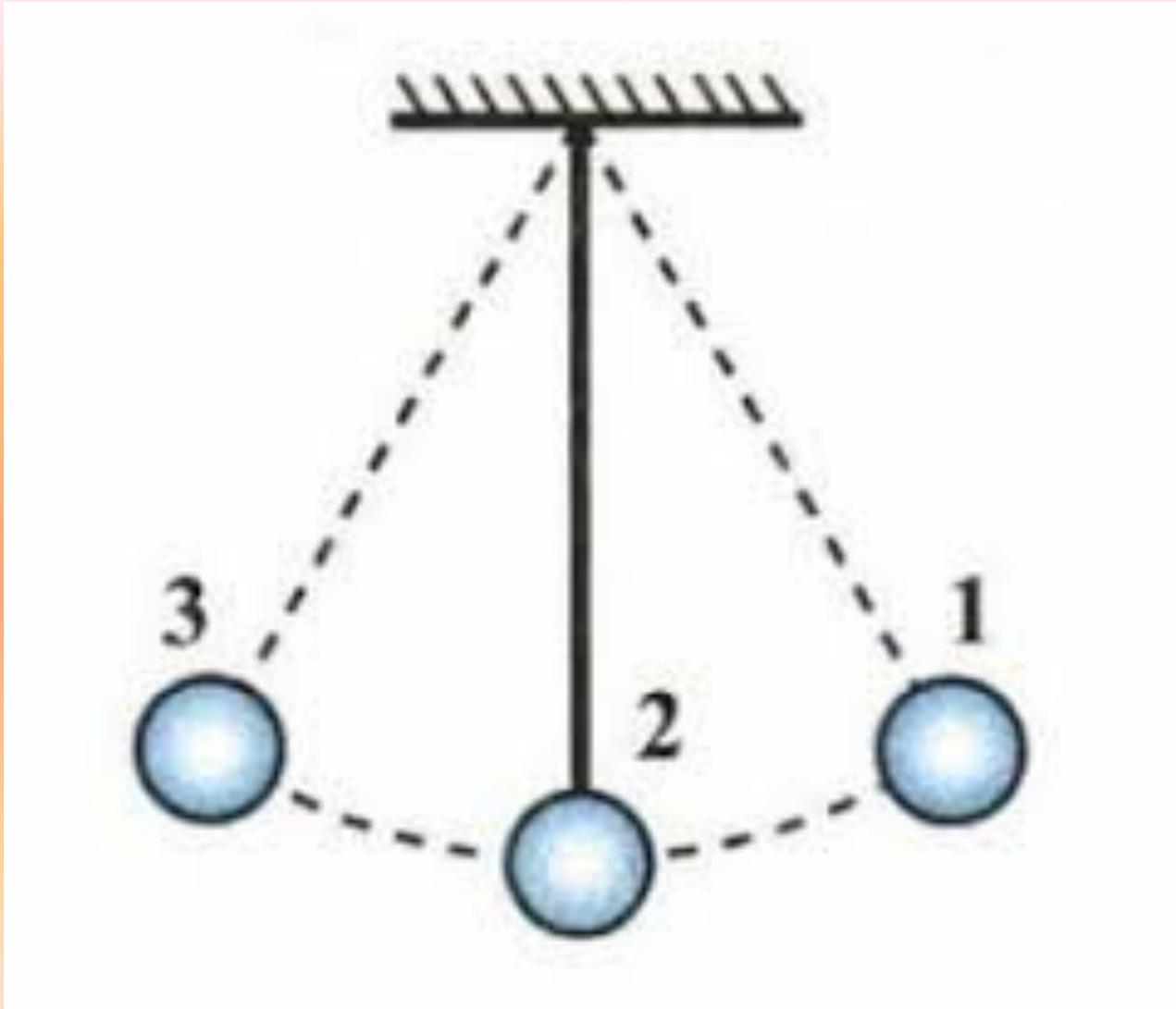
Движение груза, подвешенного на пружине.



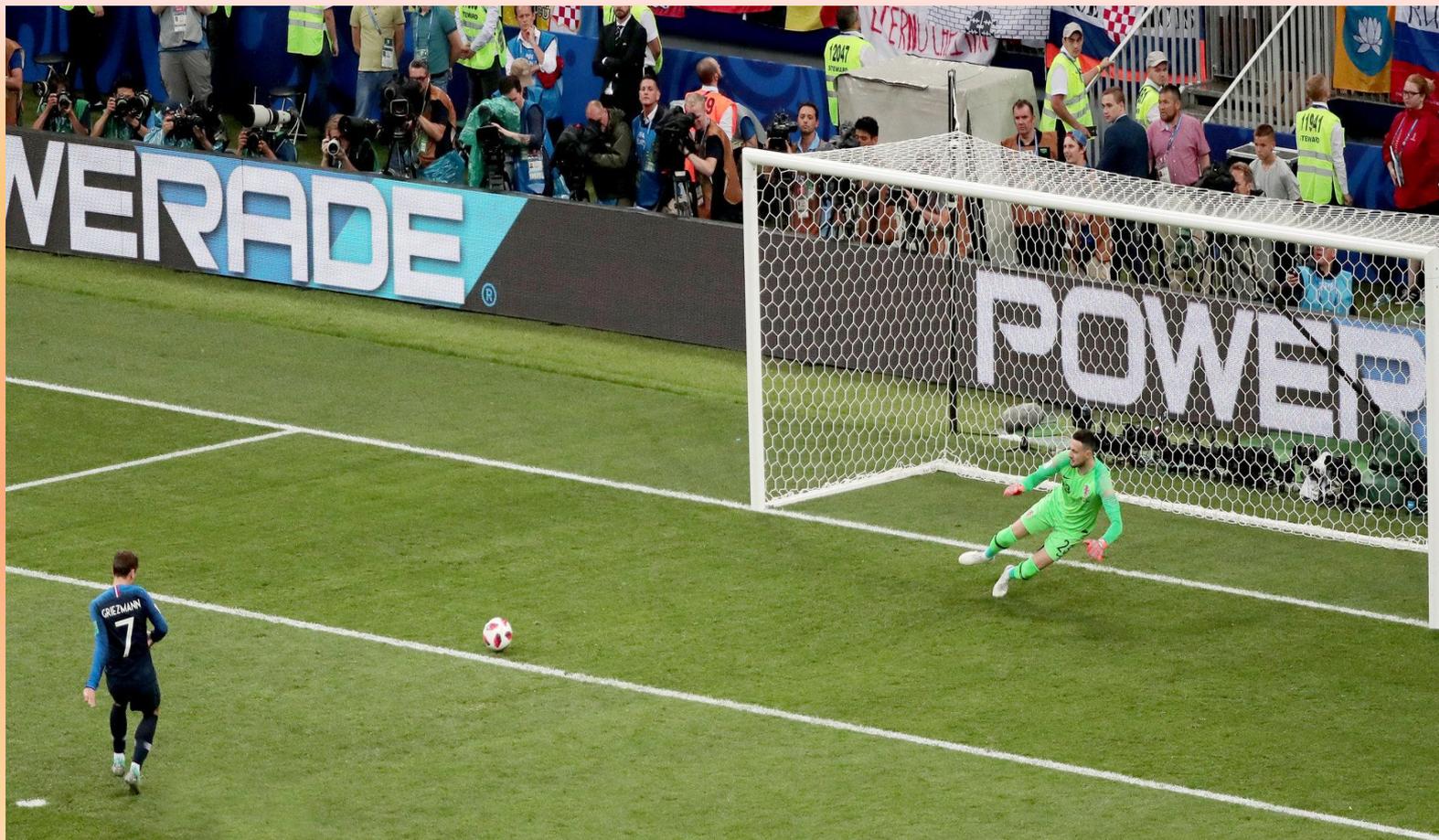
Тряска автомобиля, движущегося по неровной дороге.



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



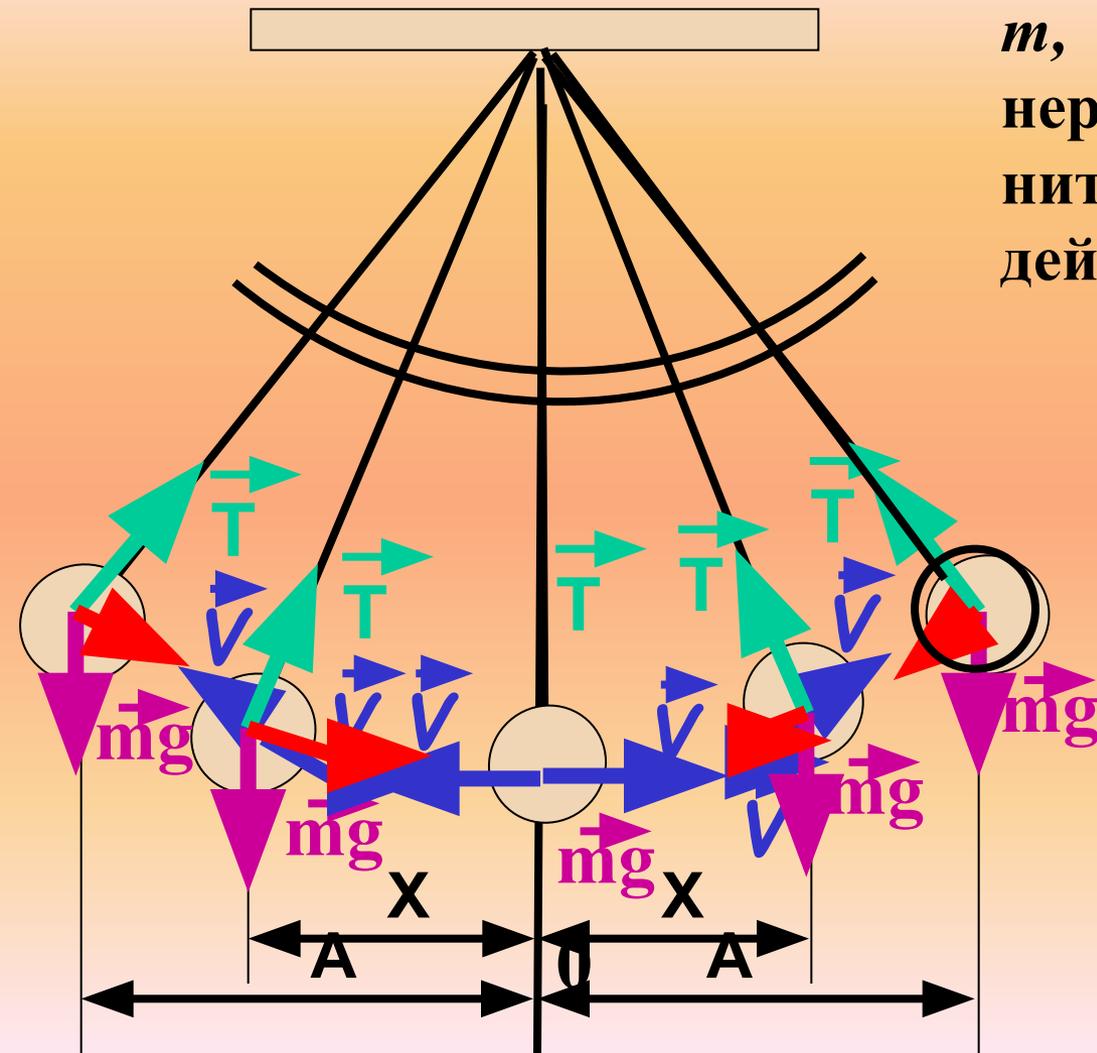
Математический

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.



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

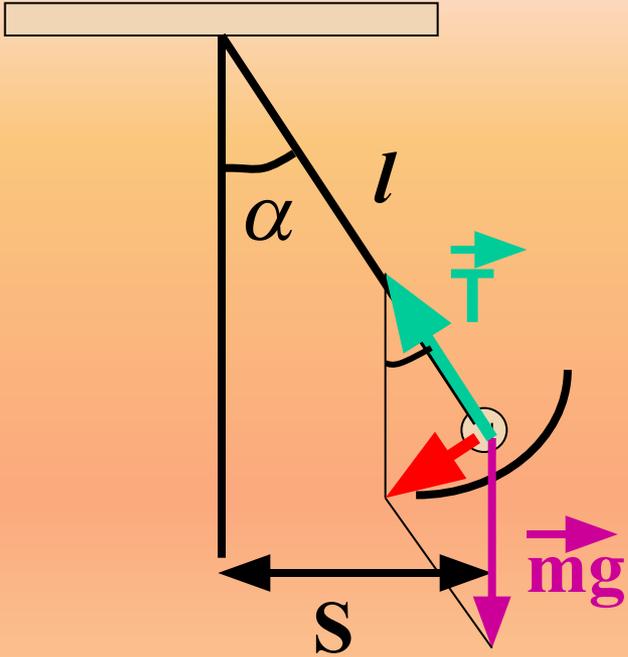
$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$$

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

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



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.

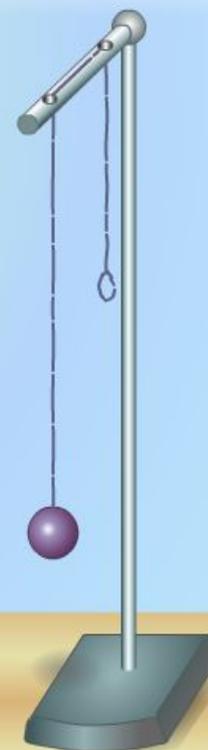
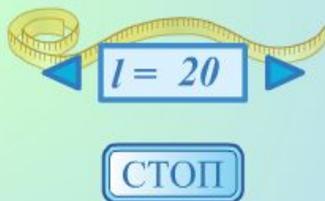
2. Отклоните шарик на небольшой угол от положения равновесия и отпустите.

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.**

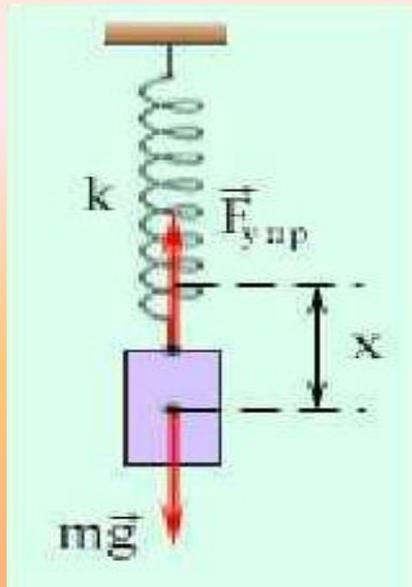
**3. Вспоминая все познания свои,
И физики мир постигая,
Я благодарен матушке судьбе,
Что колебания в мире есть и нам их всех не счесть!**

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

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

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

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

$$v = 0$$

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

$$E_k = 0$$

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

$$E_{\text{полн}} = E_k + E_n$$

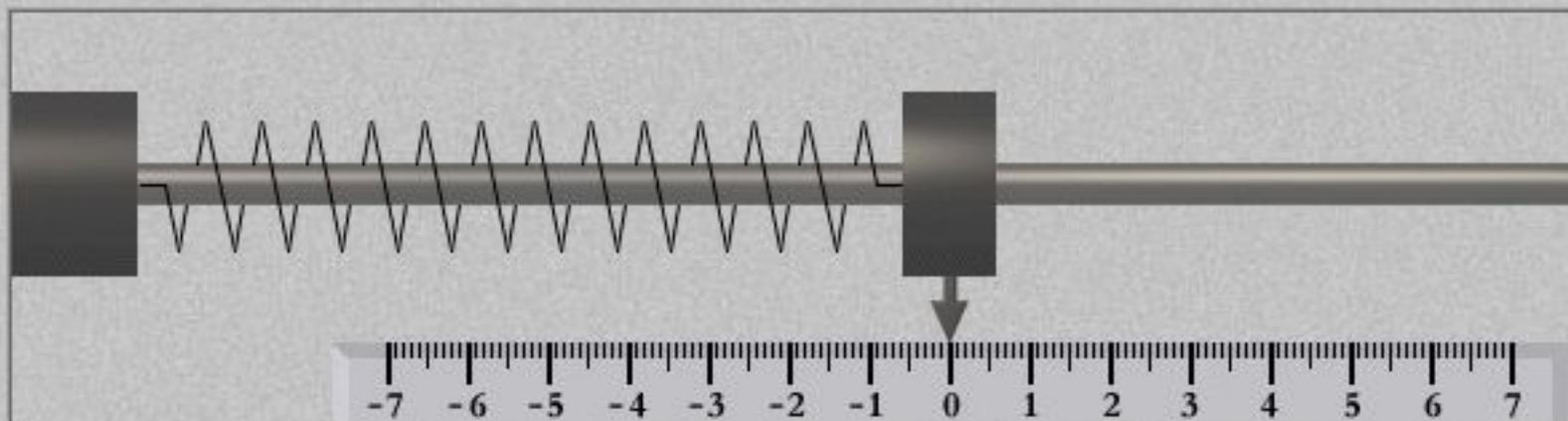
$$E_{\text{полн}} = \frac{kA^2}{2}$$

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

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

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

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:

$\beta =$

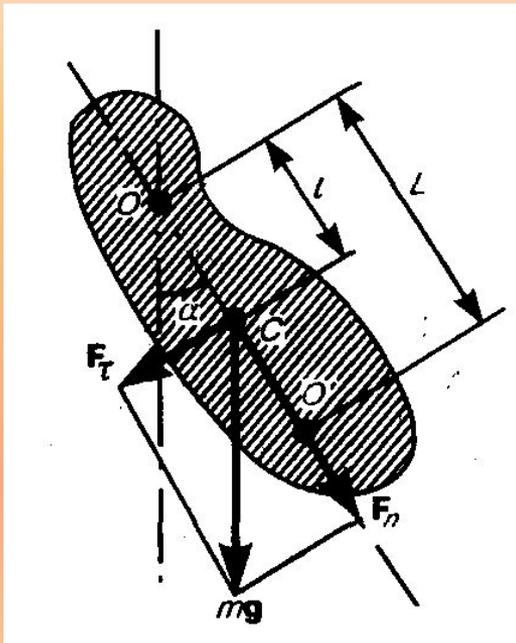
β_1

β_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

$$m = 1 \text{ кг}$$

$$l = 1.5 \text{ м}$$

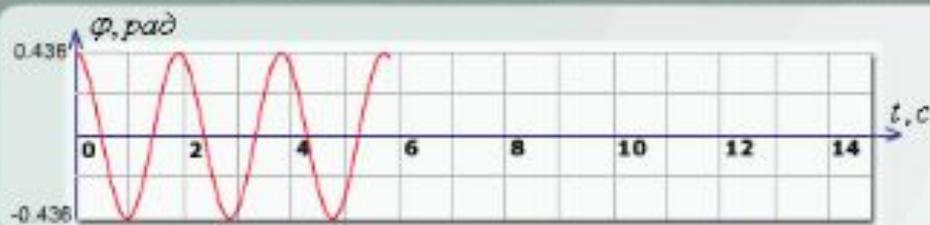
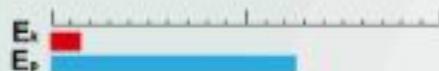
$$d = 0.59 \text{ м}$$

$$T = ? \text{ с}$$

$$v = ? \text{ Гц}$$

$$\varphi = 0.412 \text{ рад}$$

- Меркурий
- Венера
- Земля
- Марс
- Луна



5.839

пуск пауза сброс

N 3

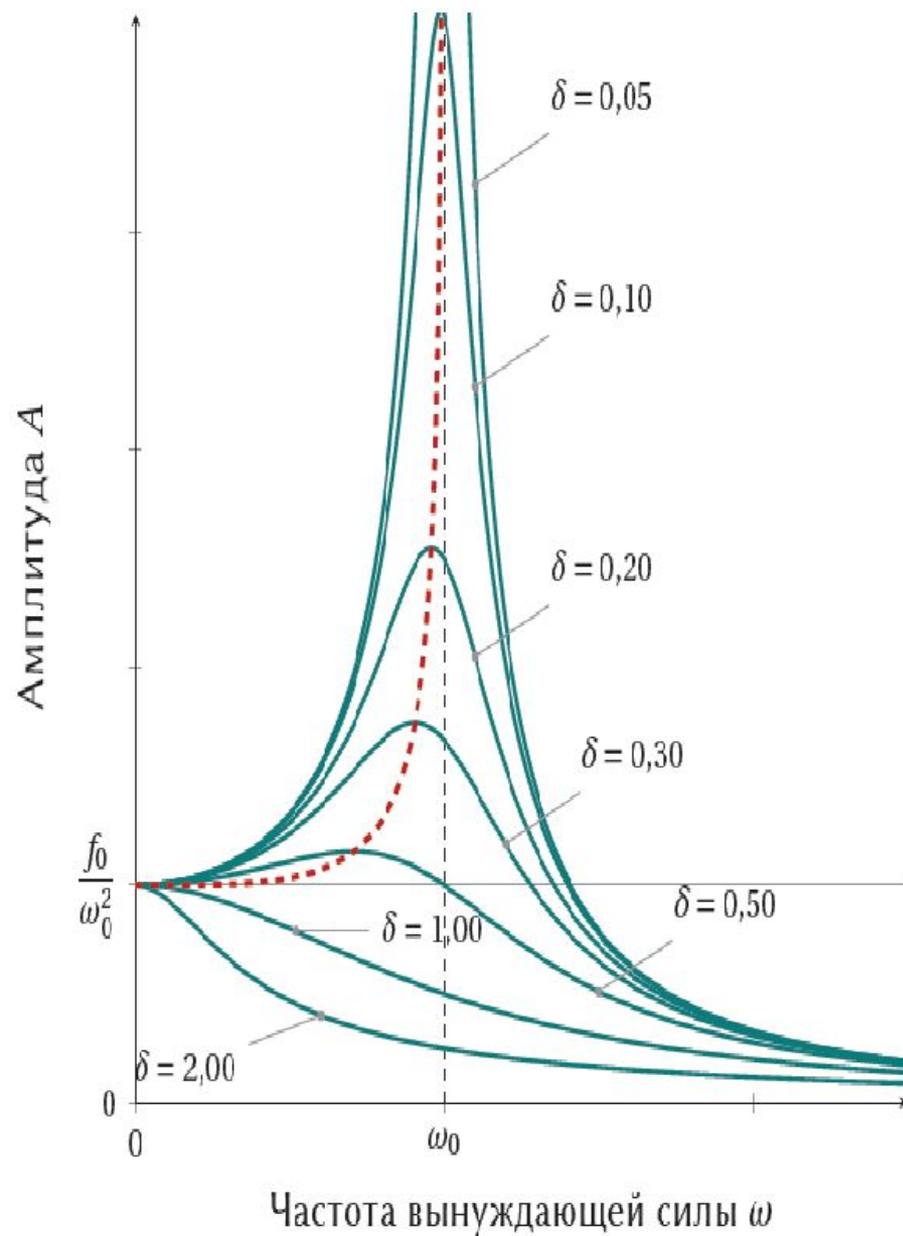


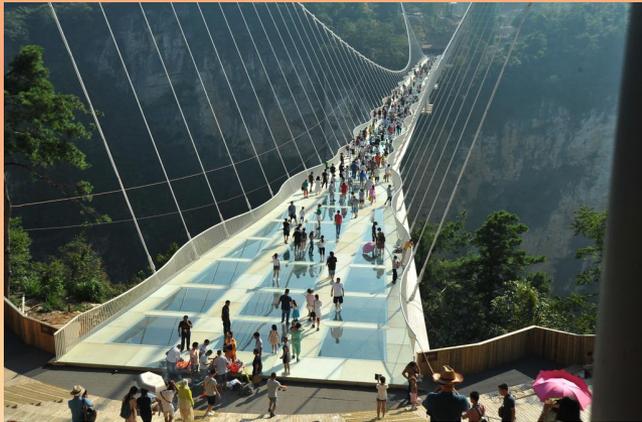
Резонанс

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.

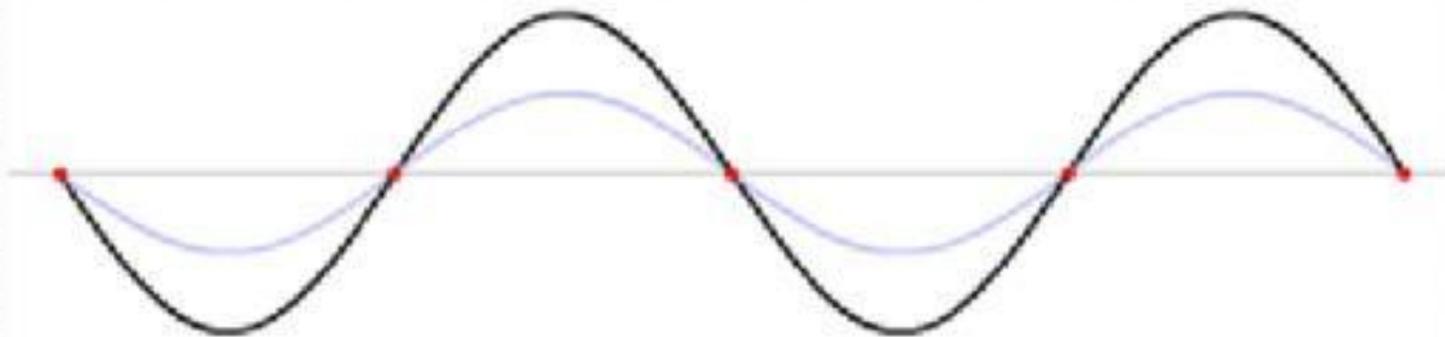
• **Вред:**

- 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.***

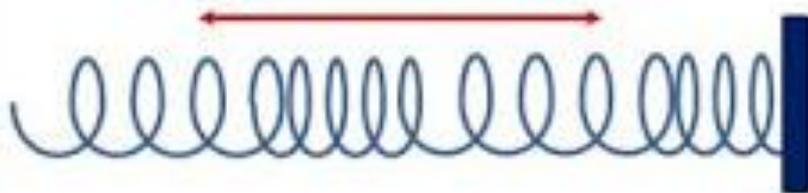
Волны

продольные

поперечные

Направление колебаний совпадает с направлением распространения волны

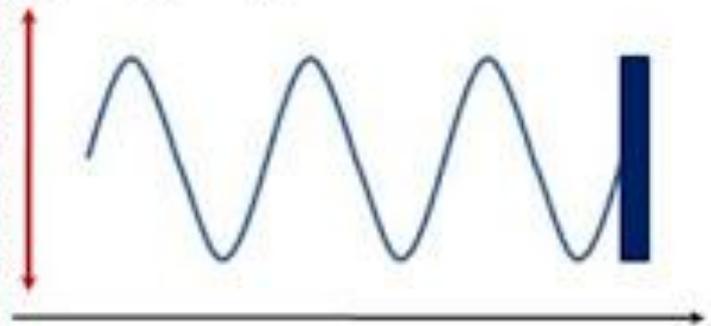
направление колебаний



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 λ — 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

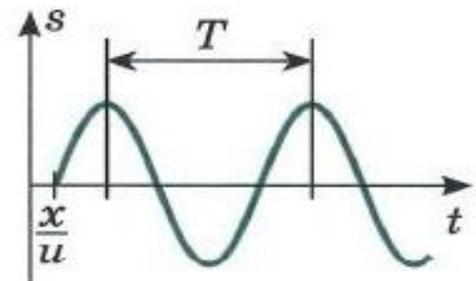
Гармоническая волна — процесс распространения в среде гармонических колебаний.

Если источник волн колеблется по закону:

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

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

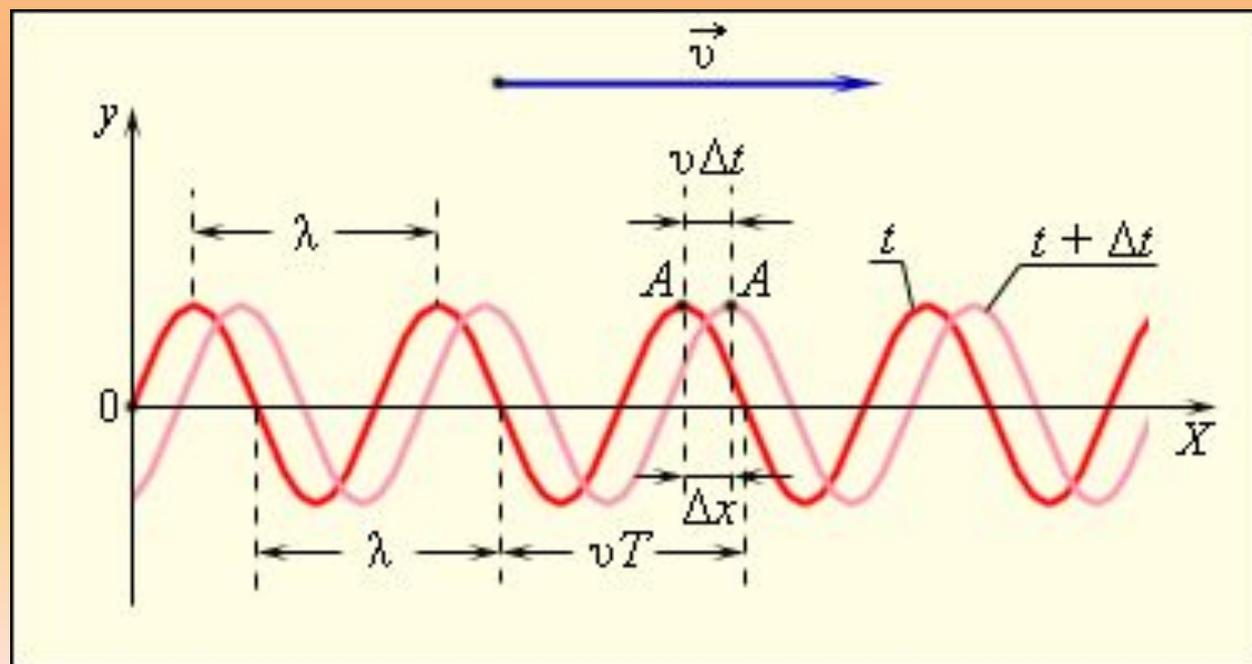
$$s = s_m \sin \omega \left(t - \frac{x}{u} \right).$$



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

λ ДЛИНА ВОЛНЫ

ν 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 (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.

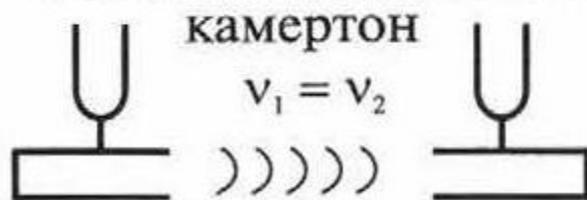
Звук распространяется во всех упругих телах (тв., ж., г.),

не распространяется в вакууме

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

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

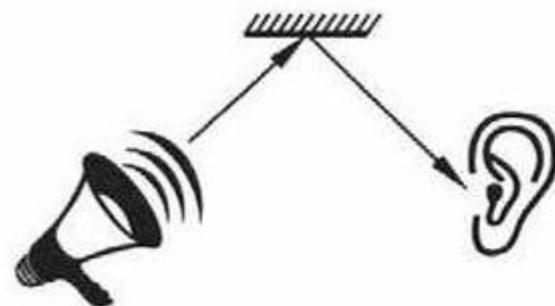
ЗВУКОВОЙ РЕЗОНАНС



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 10^9 до $10^{12} - 10^{13}$ Гц. По физической природе гиперзвук ничем не отличается от звуковых и ультразвуковых волн.



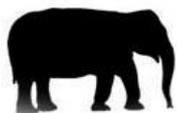
Ультразвук в живой природе



- 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!**