

# **МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ.**

**Свободные и вынужденные колебания.**

**Амплитуда, период, частота, фаза колебаний.**

**Уравнение гармонических колебаний.**

**Математический маятник.**

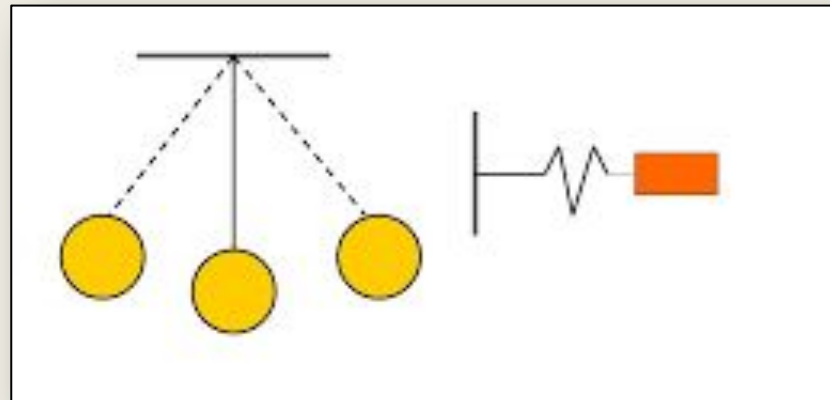
## Цели и задачи:

- Познакомить учащихся с одним из наиболее распространённых движений в природе и технике – колебательным движением на примере математического и пружинного маятника; ввести понятия характеристик колебательного движения; выяснить условия существования свободных, вынужденных колебаний, резонанса; формировать у учащихся умения наблюдать и анализировать физические явления; способствовать развитию умений вести диалог и занимать активную позицию на уроке.

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

**Колебаниями** называются периодические изменения величин или периодически повторяющиеся движения или процессы.

Повторяются движения поршней в двигателе автомобиля, поплавок на волне, ветки дерева на ветру, нашего сердца.



- По характеру физических процессов в системе, которые вызывают колебательные движения, различают три основных вида колебаний:

**свободные**

**вынужденные**

**автоколебания**

Группу тел, движение которых мы изучаем, называют в механике колебательной **системой тел** или просто **системой**.

Силы, действующие между телами системы, называют **внутренними**.

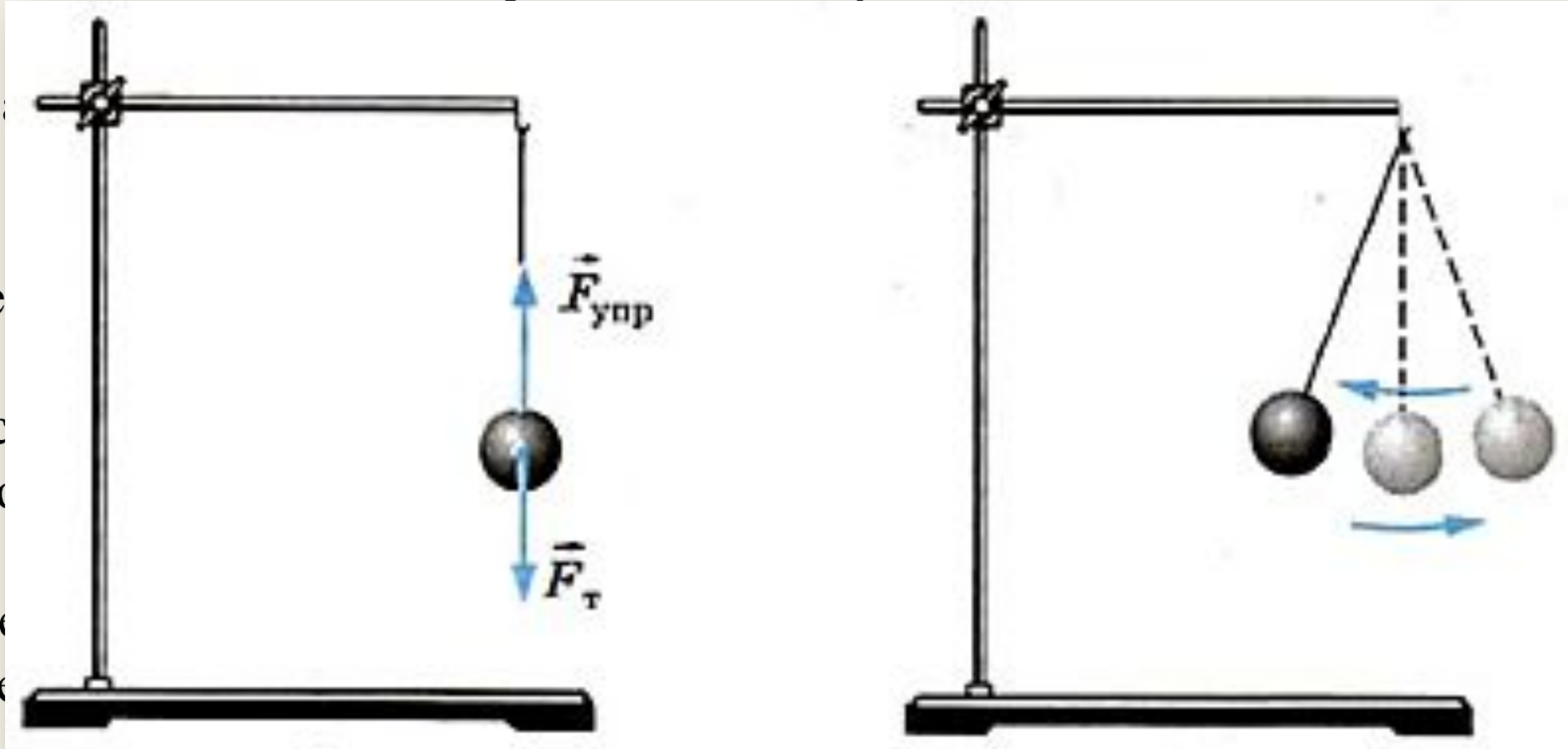
**Внешними силами** называют силы, действующие на тела системы со стороны тел, не входящих в нее.

▣ **Свободные колебания** — это колебания, которые возникли в системе под действием внутренних сил, после того, как система была выведена из положения устойчивого равновесия.

Колебания —

После того, как система была выведена из положения устойчивого равновесия, она совершает свободные колебания.

Под действием внутренних сил система совершает свободные колебания.



а

ри

егда

## Условия возникновения свободных механических колебаний:

- 1) В одном определённом положении тела в пространстве, называемом **положением равновесия**, равнодействующая сил, приложенных к телу, должна быть равна нулю. При выведении тела из положения равновесия равнодействующая всех сил должна быть отличной от нуля и направлена к положению равновесия.
- 2) Для начала свободных колебаний система должна быть выведена из положения равновесия внешним воздействием.
- 3) Силы трения в системе должны быть малы по сравнению с силами, зависящими от координат.

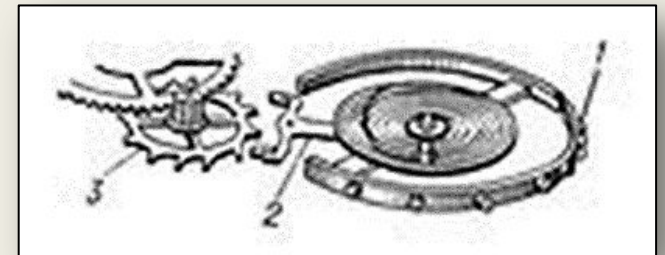
- **Вынужденные колебания** – это колебания, которые происходят под действием периодически изменяющейся силы.



Качели, которые мы периодически подталкиваем; колебания веток деревьев под действием ветра; колебания проводов линий ЛЭП под действием ветра, колебание маятника часов под действием пружины или груза; струны гитары.

- **Автоколебаниями** называются незатухающие колебания, которые могут существовать в системе без воздействия на неё внешних периодических сил и имеющей источник энергии

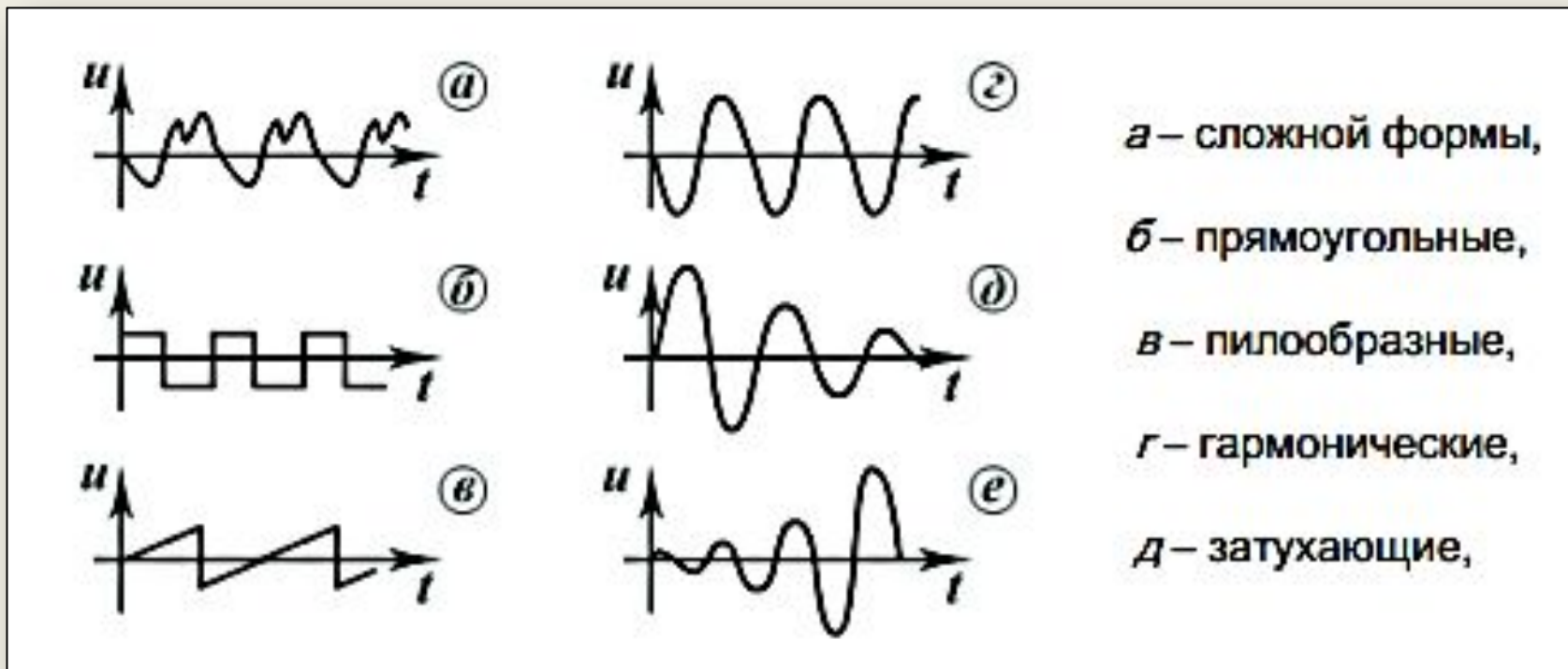
Маятниковые часы,  
часы с балансиром



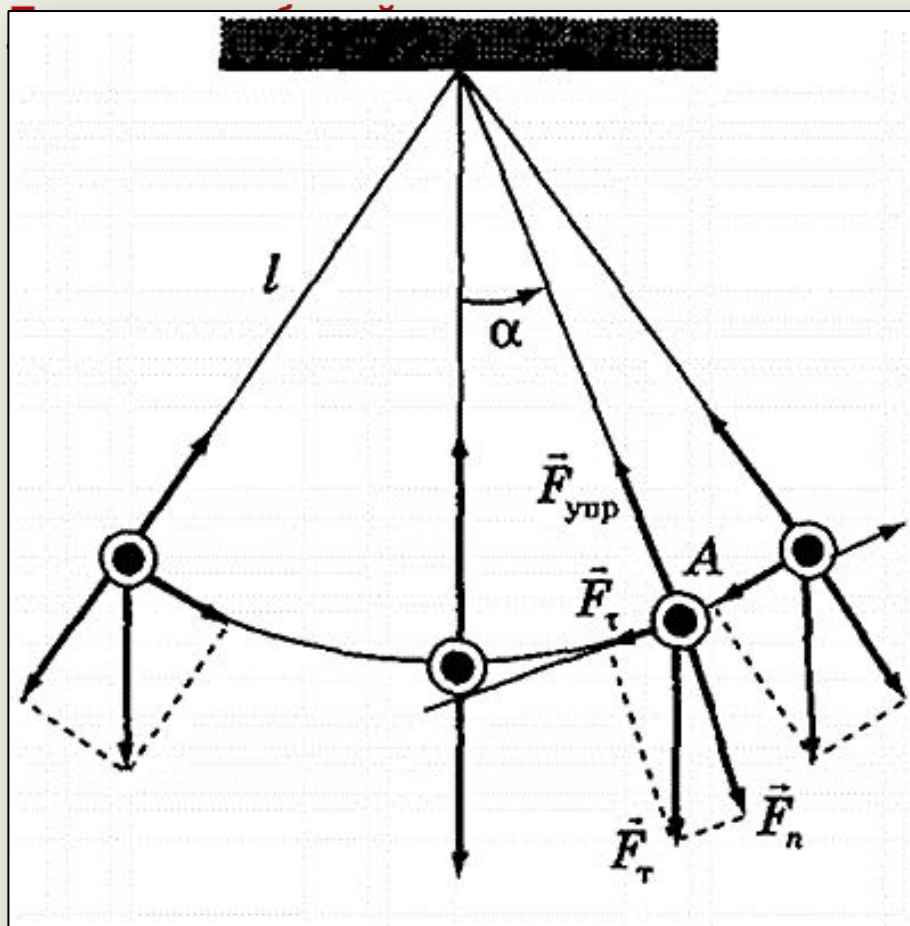


## По характеру изменения во времени кинематических характеристик:

- Пилообразные;
- Гармонические;
- Затухающие.



# Характеристиками колебательного движения - период, частота, амплитуда, фаза колебаний.



времени, через который тело оказывается  
ва и движется с той же скоростью и с тем  
ся периодом колебаний ( $T$ ).

которое совершается одно полное колебание.

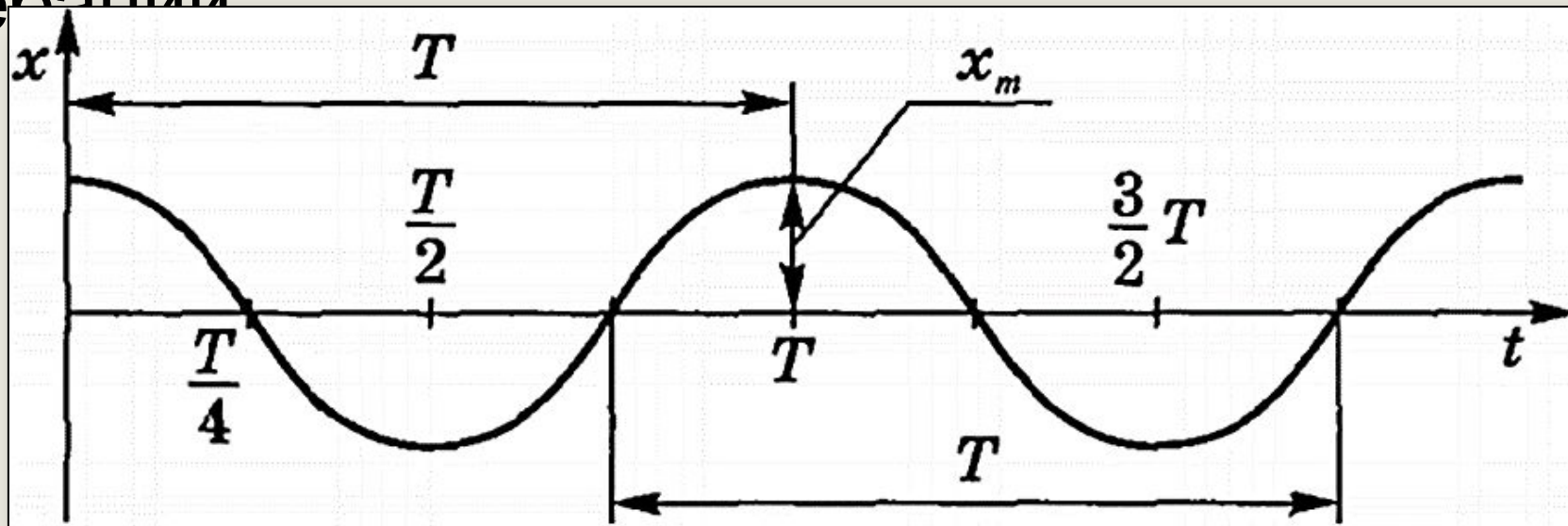
а время  $t$ , то период колебаний определяется по формуле:

$$T = \frac{t}{N}$$

аний тела в системе СИ - 1 секунда = 1с. Также период  
системных единицах времени - минутах, часах и так далее.

- На рисунке период колебаний - это время, за которое грузик маятника перемещается из крайней правой точки через точку равновесия  $O$  в крайнюю левую точку и обратно через точку  $O$  снова в крайнюю правую.

За полный период колебаний тело проходит путь, равный четырем амплитудам. Период колебаний может быть определен по известному графику колебаний



Понятие «период колебаний», справедливо, лишь когда значения колеблющейся величины точно повторяются через определенный промежуток времени, то есть для гармонических колебаний. Однако это понятие применяется также и для случаев приблизительно повторяющихся величин, например, для **затухающих колебаний**.

## Частота колебаний тела.

Физическая величина, равная числу колебаний, совершаемых за одну секунду, называется частотой колебаний ( $\nu$ ).

- Единица измерения частоты колебаний в системе СИ названа герцем (Гц) в честь немецкого физика Г. Герца (1857-1894), 1 герц = 1 Гц. Если частота колебаний равна 1 Гц, то это значит, что за каждую секунду тело совершает одно колебание.

- Если тело совершило  $N$  колебаний за время  $t$ , то частота колебаний определяется по формуле:  $\nu = N/t$ .

- Частота и период колебаний связаны соотношениями:  $T = 1/\nu$  или  $\nu = 1/T$ .

Механические колебания груза на пружине и шарика на нити - это движение, при котором смещение зависит от времени по закону синуса или косинуса. А такие колебания называют гармоническими.

- Период функции косинус равен  $2\pi$ .

Число полных колебаний, совершённых за  $2\pi$  секунд, называют циклической, или круговой, частотой ( $\omega$ ), скалярная физическая величина, мера частоты вращательного или колебательного движения

- Она связана с обычной частотой  $\nu$  и периодом колебаний  $T$  соотношениями:

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

- Единица измерения циклической частоты колебаний в системе СИ 1 рад/с

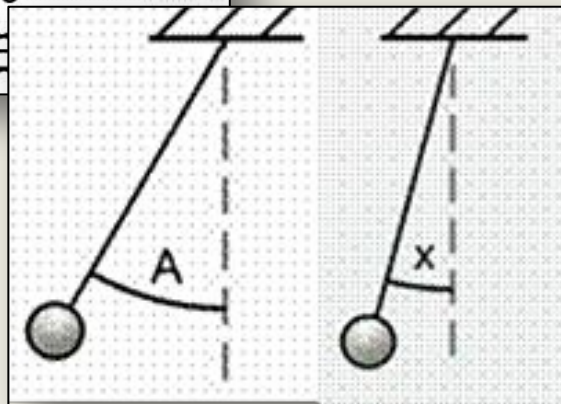
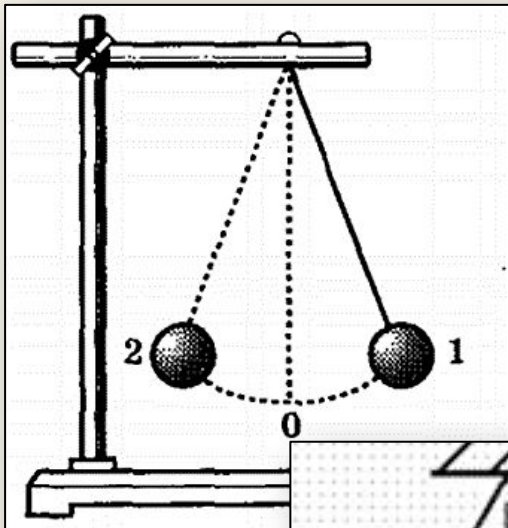


## Амплитуда колебаний тела.

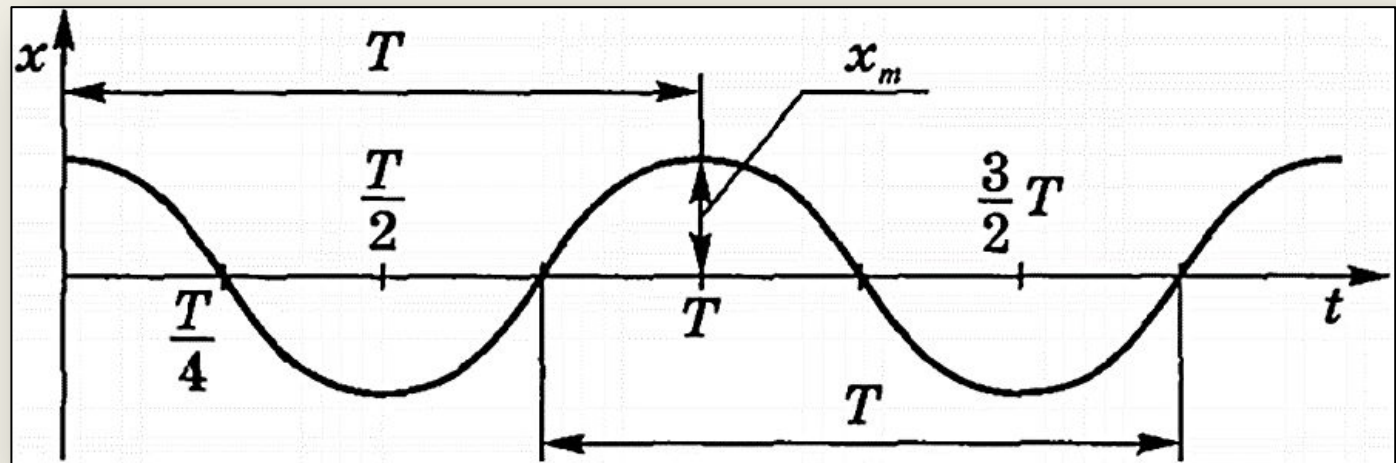
**Амплитудой (A)** (лат. *amplitude* - величина) механических колебаний тела называется наибольшее смещение тела от положения равновесия.

Для маятника это максимальное расстояние, на которое удаляется шарик от своего положения равновесия.

**Размах колебания** – это когда тело совершило колебание из одной крайней точки в другую. **Смещение** - это текущее отклонение от положения равновесия.



Амплитуда колебаний измеряется в единицах длины - метрах (сантиметрах и так далее). На графике колебаний амплитуда определяется как максимальная (по модулю) ордината кривой.



## Фаза колебаний тела. Гармонические колебания

Если координата  $x$  тела, совершающего колебания вдоль оси  $Ox$ , изменяется со временем  $t$  по формуле синуса или косинуса  $x = x_0 * \sin 2\pi * \nu * t$  или  $x = x_0 * \cos 2\pi * \nu * t$ , то такие колебания называются гармоническими колебаниями.

- В этих уравнениях  $x_0$  - амплитуда колебаний,  $\nu$  - частота колебаний.

- Вместо частоты  $\nu$  в уравнении гармонических колебаний тела может быть использована циклическая частота  $\omega$ :  $\omega = 2\pi * \nu$ ,

$$x = x_0 * \cos \omega * t.$$

- Если использовать период колебаний, получим такую формулу:  $x = x_0 * \cos \frac{2\pi}{T} * t$ .

- Величина, стоящая под знаком косинуса или синуса, называется фазой ( $\varphi$ ) гармонических колебаний.

$$\varphi = 2\pi * \nu * t = \omega * t = \frac{2\pi}{T} * t$$

**Амплитуда скорости** – максимально значение скорости колеблющегося тела.

**Амплитуда ускорения** – максимальное значение ускорения колеблющегося тела.

**Уравнение зависимости скорости и ускорения от времени:**

$$x(t) = x_{\text{макс}} \sin \omega t \quad \text{Уравнение зависимости координаты от времени}$$

$$v_x(t) = v_{x \text{ макс}} \cos \omega t \quad \text{Уравнение зависимости проекции скорости от времени}$$

$$a_x(t) = -a_{x \text{ макс}} \sin \omega t \quad \text{Уравнение зависимости проекции ускорения от времени}$$

## Уравнение гармонических

### колебаний

Все гармонические колебания имеют математическое выражение. Их свойства характеризует совокупность тригонометрических уравнений, сложность которых определяется сложностью самого колебательного процесса, свойствами системы и средой, в которой они происходят, то есть, внешними факторами, воздействующими на колебательный процесс.

- **Гармонические колебания** - это колебания, при которых координата зависит от времени по гармоническому закону:  $x = x_0 * \cos(\omega * t + \alpha)$ .

- Положительная величина  $x_0$  является наибольшим по модулю значением координаты (модуль косинуса равен единице), то есть наибольшим отклонением от положения равновесия. Следовательно,  $x_0$  - амплитуда колебаний.

- Аргумент косинуса  $\omega t + \alpha$  называется **фазой колебаний** и он определяет место (положение) колеблющейся материальной точки в данный конкретный момент времени при заданной амплитуде.

- Величина  $\alpha$ , равная значению фазы при  $t = 0$ , называется **начальной фазой**.



Многообразие колебательных процессов естественным образом приводит к тому, что существует большое количество **осцилляторов**.

### Основные типы:

а) пружинный осциллятор - обычный груз, обладающий некой массой  $m$ , который подвешен на упругой пружине. - Он совершает колебательные движения гармонического типа, которые описываются формулой

$$F = - kx.$$

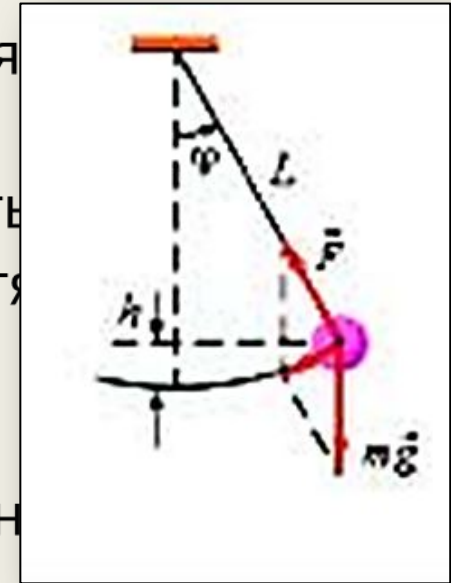
б) физический осциллятор (маятник) - твердое тело, совершающее колебательные движения вокруг статичной оси под воздействием определенной силы;

в) математический маятник (в природе практически не встречается). - Он представляет собой идеальную модель системы, включающей колеблющееся физическое тело, обладающее определенной массой, которое подвешено на

## Математический маятник.

Маятник – система, подвешенная в поле тяжести и совершающая колебания

Тело массой  $m$  столь малых размеров, что его можно считать материальной точкой, подвешенное на невесомой и нерастяжимой нити длиной  $l$ , называется **математическим маятником**.



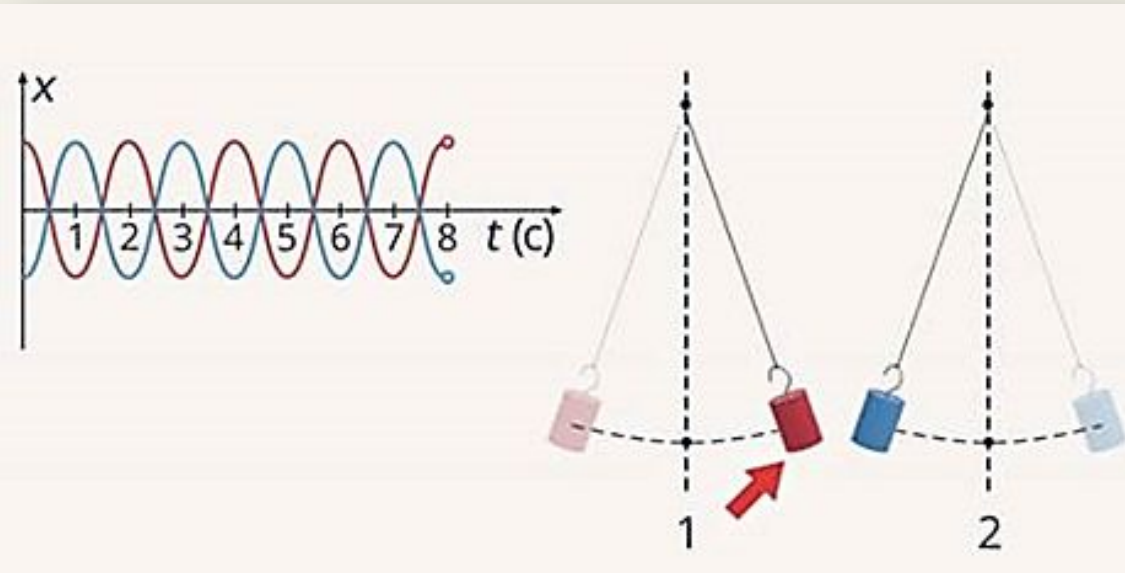
ая из материальн

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

и маятника  $l$  и от величины ускорения  
ния равновесия и равна нулю в точках

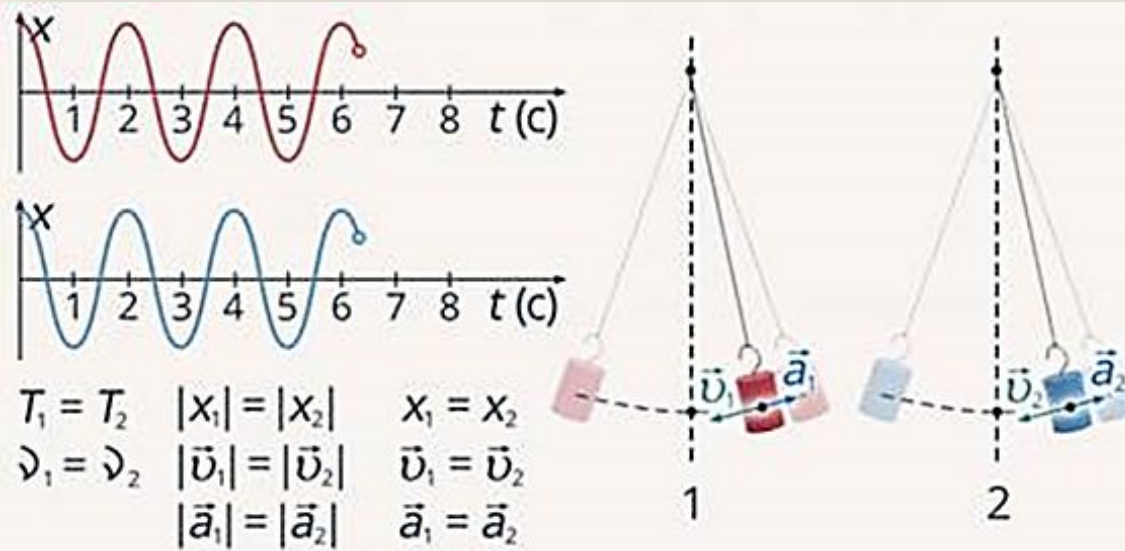
амплитуды колебаний.

3. Высота поднятия шарика над определённым нулевым уровнем максимальна в точках амплитуды колебаний и равна нулю в точке положения равновесия.



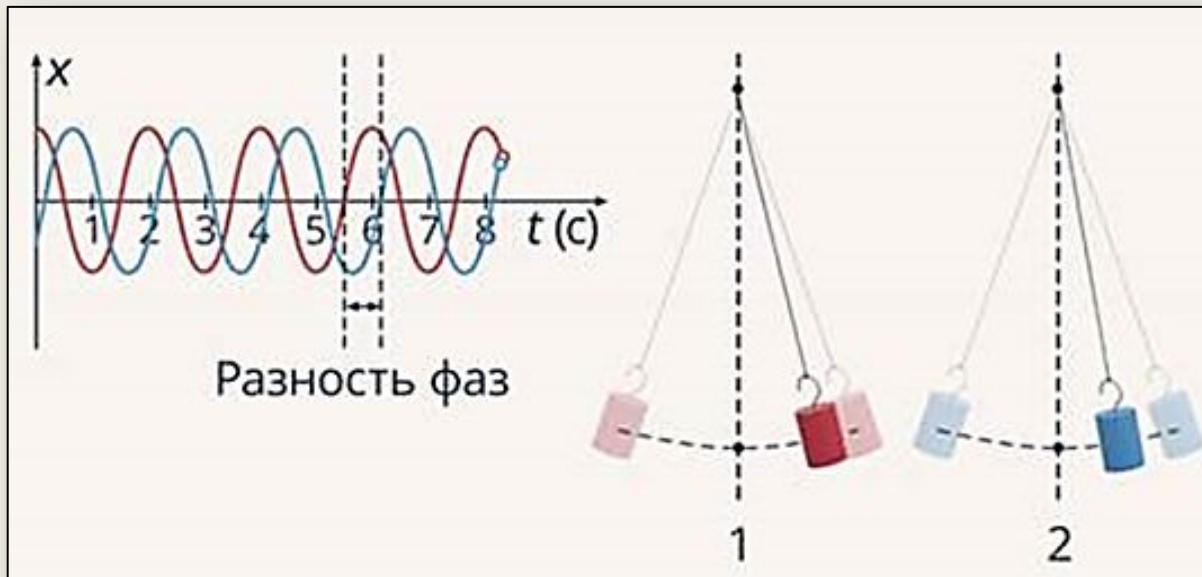
## 1. Колебания в противоположных фазах:

Частоты колебаний маятников равны между собой, однако их отклонение от положения равновесия скорости и ускорения в любой момент времени противоположны по знаку и равны по модулю



## 2. Синфазные колебания.

Если же маятники будут колебаться так, что все кинематические величины в любой момент времени будут совпадать и по модулю, и по знаку, то маятники колеблются в одинаковой фазе, то есть синфазно

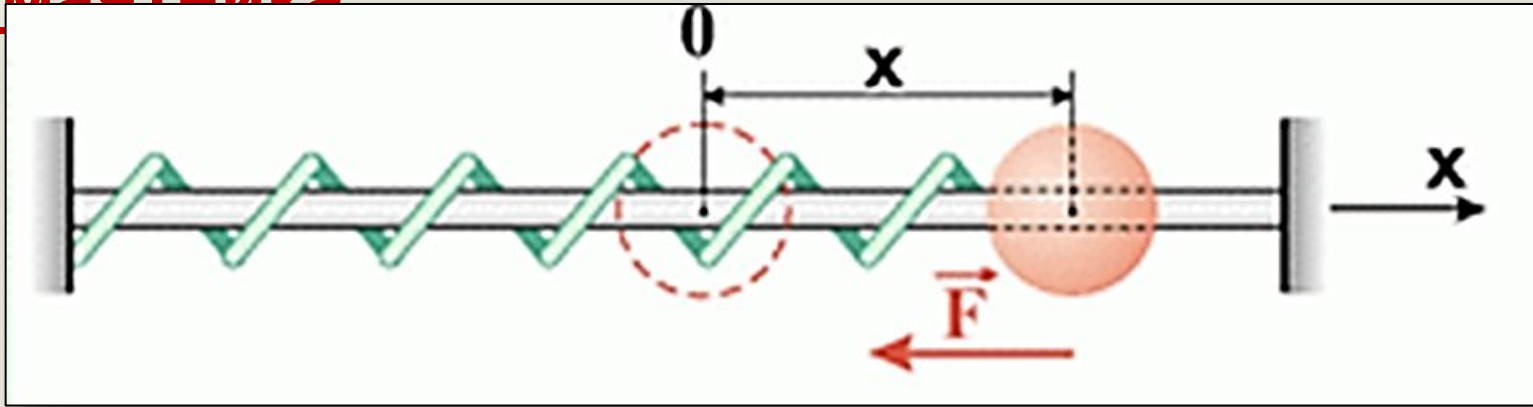


### 3. Разность фаз:

Ситуации, когда маятники колеблются не синфазно и не противофазно, тогда говорят, что в колебательных системах присутствует некая разность фаз

**Фаза** – это величина, которая показывает, на сколько колебания одного маятника опережают или отстают по сравнению с колебаниями второго.

# Свободные колебания пружинного маятника

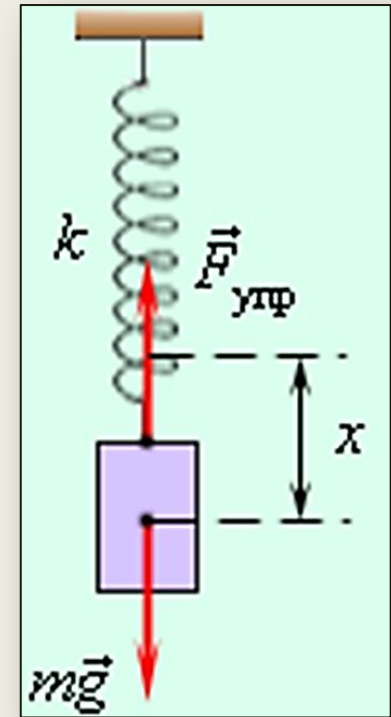


- $F_x = -kx$  – закон Гука
- $F_x = ma_x$  – второй закон Ньютона
- $ma_x = -kx$ ,  $a_x = -kx/m$ ,  $k/m = \text{const}$

уравнение свободных колебаний пружинного маятника.

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

- Ускорение тела, колеблющегося на пружине, не зависит от силы тяжести, действующей на это тело, оно пропорционально смещению и направлено в сторону равновесия.



Период свободных колебаний пружинного маятника

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



# Превращение энергии при гармонических колебаниях

$$E_{\text{п}} = \frac{kx^2}{2}$$

Потенциальная энергия пружинного маятника где  $k$  – коэффициент жесткости пружины,  $x$  – координата.

$$E_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}$$

Кинетическая энергия

$$x = x_m \cos \omega t$$

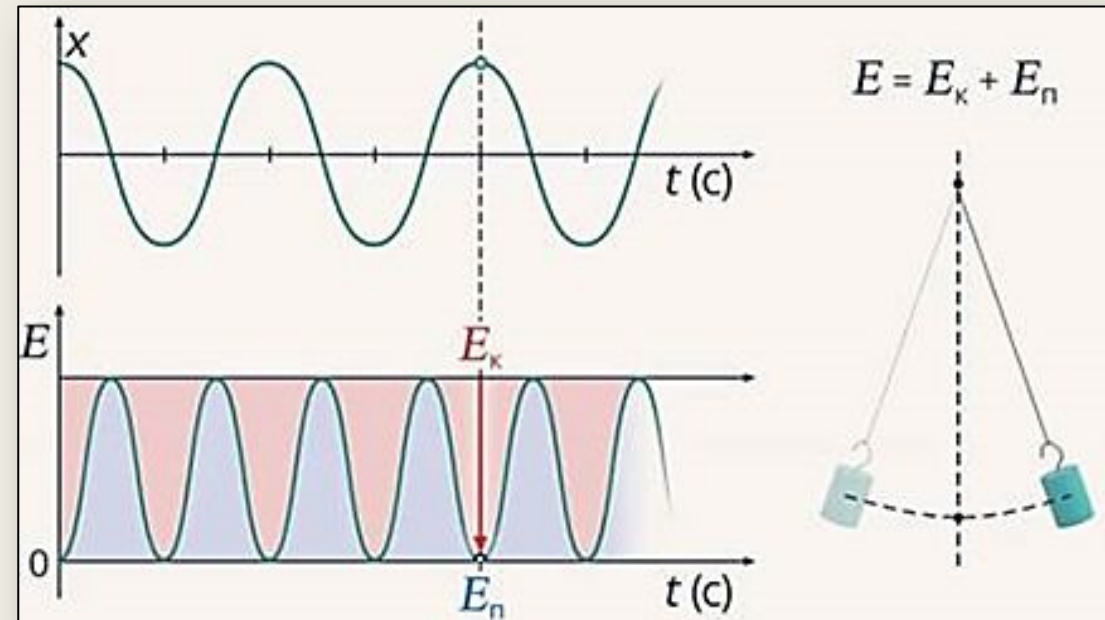
$$v = v_m \sin \omega t$$

$$E_{\text{п}} = \frac{kx^2}{2} \cos^2 \omega t$$

$$E_{\text{к}} = \frac{mv_m^2}{2} \sin^2 \omega t$$

$$E = E_{\text{к}} + E_{\text{п}}$$

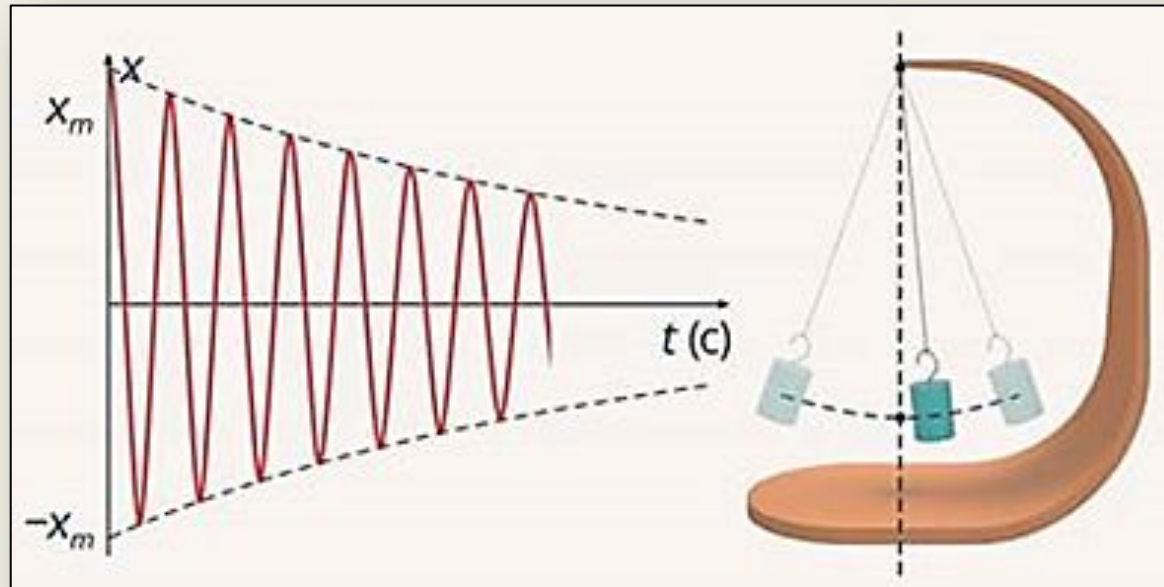
Выполняется закон сохранения энергии.



Энергия колеблющегося тела прямо пропорциональна квадрату амплитуды колебаний координаты или квадрату амплитуды колебаний скорости

# Затухающие, вынужденные колебания.

Любая реальная колебательная система – затухающая, так как ей приходится преодолевать силу трения или силу сопротивления.

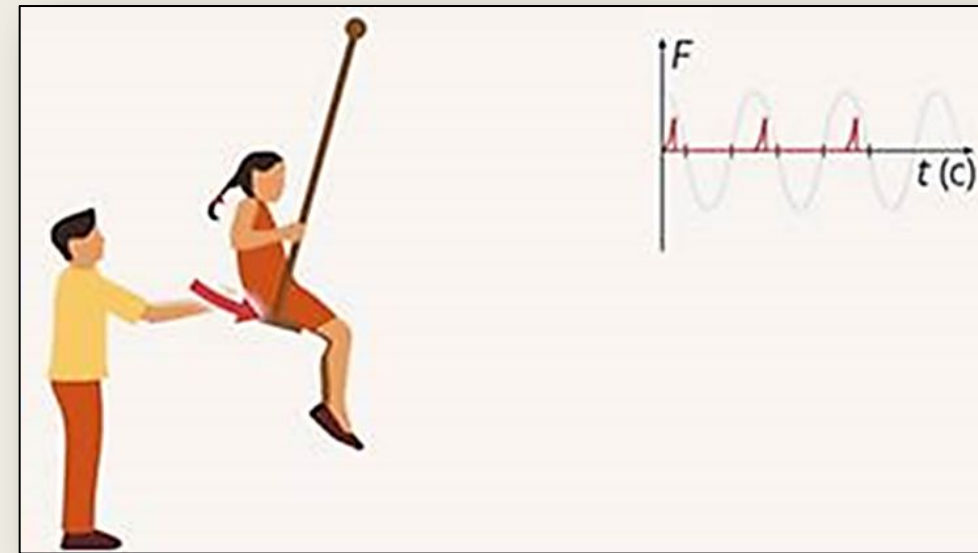


Колебания затухают, так как влияют два основных фактора: сопротивление воздуха, а также трение в подвесе. Со временем амплитуда становится все меньше,  $A \rightarrow 0$

Во время затухающих колебаний энергия системы непрерывно уменьшается

Колебания системы, совершающие её под действием внешней периодической силы, называются **вынужденными**.

Силу, являющейся мерой этого внешнего воздействия, называют **вынуждающей**.



### Характеристики внешней силы (вынуждающей):

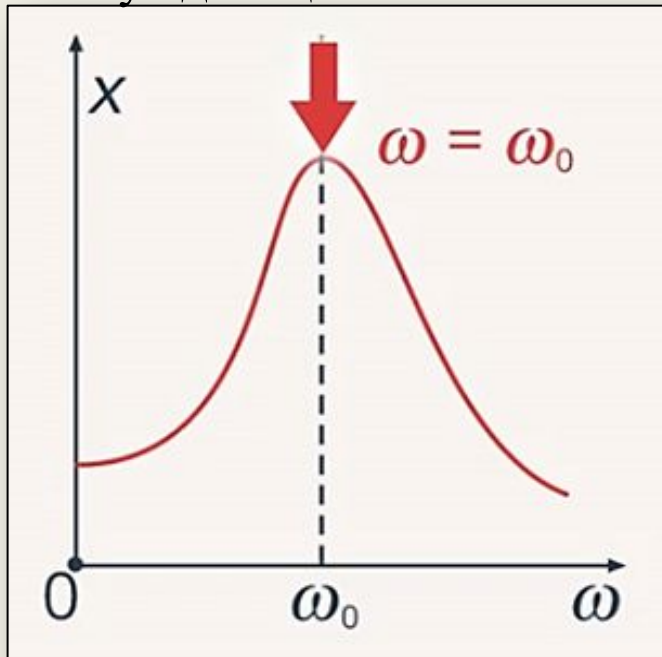
1. Сила обязательно должна меняться во времени, должна быть периодической.
2. Система должна иметь две частоты: собственная частота колебаний  $\omega_0$  - это частота, с которой бы колебалась система, если бы она была выведена из равновесия и больше никто не сообщал ей энергию (то есть никто бы больше не раскачивал её), и частота внешней силы  $\omega$  - это та частота, с которой будут раскачивать качели.
3. Колебания вынужденные - если внешняя сила периодически меняется.

Во время вынужденных колебаний энергия подводится к системе извне.

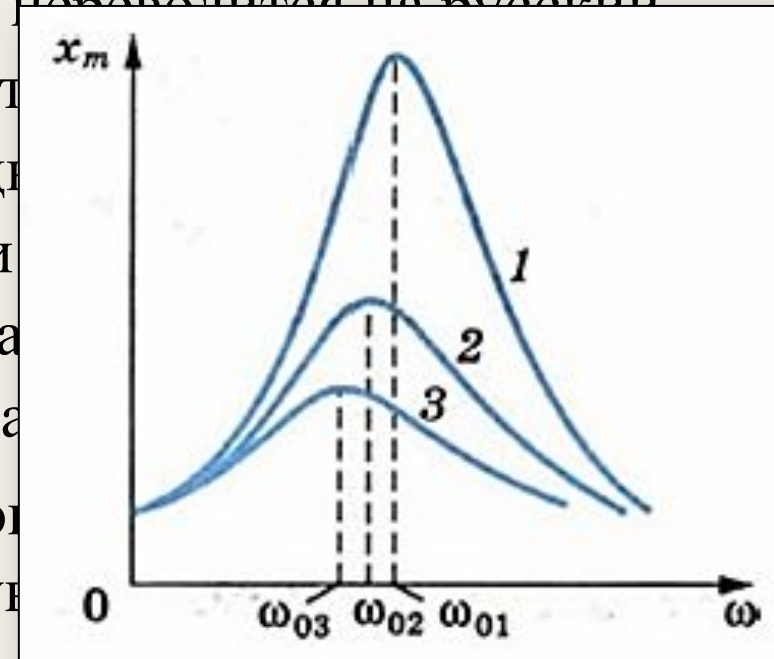


# Резонанс

График зависимости амплитуды колебаний от частоты внешней вынуждающей силы



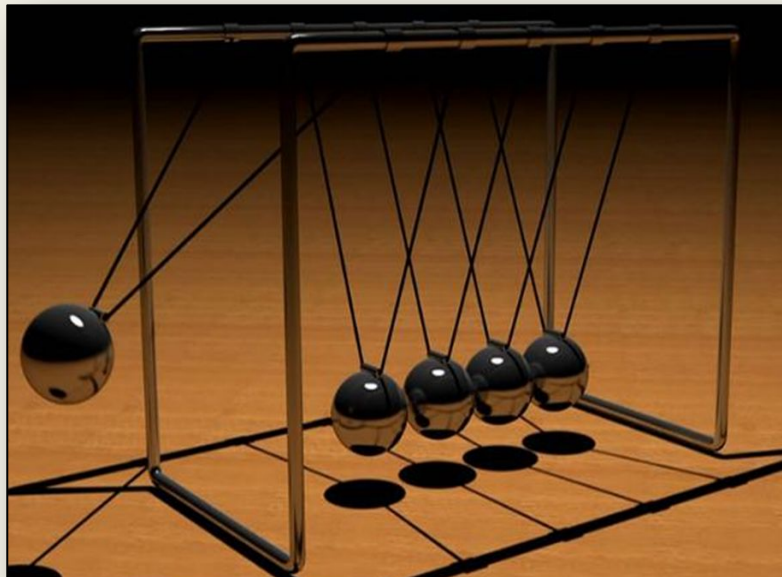
«Резонанс» - слово латинское и переводится по русскому языку как «отклик». **Резонанс** (от резонировать) – явление увеличения амплитуды колебаний системы, которое наступает при совпадении частоты внешнего воздействия силы к частоте собственных колебаний маятника или данной колебательной системы. Амплитуда резко возрастает, энергия передается в систему – и колебания резко усиливаются.



При малом трении резонанс «острый»(1), а при большом «тупой»(3). Если частота колебаний со далека от резонансной, то амплитуда колебаний мала и почти не зависит от силы сопротивления в системе. Возрастание амплитуды вынужденных колебаний при резонансе выражено тем отчетливее, чем меньше трение в системе.

В случае резонанса направление вынуждающей силы в любой момент времени совпадает с направлением движения колеблющегося тела, таким образом, создаются наиболее благоприятные условия для пополнения энергии колебательной системы за счет работы вынуждающей силы.

Явление резонанса имеет отношение только к вынужденным колебаниям, то есть когда есть внешняя периодическая вынуждающая сила.



## Способы уменьшения резонанса

- Изменения частоты собственных колебаний.
- Организация взаимного гашения двух (или более) вредных действий.
- Введение второго внешнего действия в противофазе к вредному.
- Увеличение сил трения.
- Самонейтрализация вредного действия путем введения дополнительных грузов со смещающимся центром тяжести.
- Ликвидация источника внешнего действия.

## Обвал Египетского моста



При переходе через мост воинским частям запрещается идти в ногу. Строевой шаг приводит к периодическому воздействию на мост. Если случайно частота этого воздействия совпадет с собственной частотой колебаний моста, то он может разрушиться.



# Акустический резонанс

Большинство музыкальных инструментов имеет в своем устройстве **резонатор** - устройство для усиления и продления издаваемых звуков. Акустическими резонаторами являются например, струны и корпус скрипки, трубка у флейты, корпус у барабанов, а так же комнаты, залы или их отдельные части. Голосовой аппарат человека так же является резонатором.



## Вопросы для закрепления:

1. Какой процесс называют «**механические колебания**»?
2. Какой процесс называют «**свободные колебания**»?
3. Какие процессы называют «**вынужденные колебания, автоколебания**»?
4. Какую характеристику колебаний называют «**периодом колебаний**»?
5. Какую характеристику колебаний называют «**частотой колебаний**»?
6. Какую характеристику колебаний называют «**амплитудой колебаний**»?
7. Какую характеристику колебаний называют «**фазой колебаний**»?
8. Какие колебания называют **гармоническими колебаниями**?
9. Какую систему называют **математическим маятником**?
10. Свободные колебания **пружинного маятника**?
11. Что представляет собой **явление резонанса**?

## Задача.

Математический маятник длиной 99,5 см за одну минуту совершил 30 полных колебаний. Определите период колебаний маятника и ускорение свободного падения в том месте, где находится маятник

Дано

СИ

Решение

$$l = 99,5 \text{ см}$$

$$0,995 \text{ м}$$

$$T = \frac{t}{N}$$

$$t = 1 \text{ мин}$$

$$60 \text{ сек}$$

$$T = 2 \text{ сек}$$

$$N = 30$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \Rightarrow T^2 = 4\pi^2 \frac{l}{g} \Rightarrow g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}, \text{ ИЛИ}$$

T - ?

$$g = \frac{4\pi^2 l N^2}{t^2}$$

g - ?

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2$$

Ответ: 2с; 9,81 м/с<sup>2</sup>.

Д/З. УЧИТЬ **§18-26**



# Спасибо за внимание !

Выполнила: Синякова О.Е.

Преподаватель физики МБОУ «Лицей  
№17»