**Механические колебания**

**Механические колебания** – периодически повторяющееся перемещение материальной точки, при котором она движется по какой-либо траектории поочередно в двух противоположных направлениях относительно положения устойчивого равновесия.

Отличительными признаками колебательного движения являются:

* повторяемость движения;
* возвратность движения.

Для существования механических колебаний необходимо:

* наличие возвращающей силы – силы, стремящейся вернуть тело в положение равновесия (при малых смещениях от положения равновесия);
* наличие малого трения в системе.

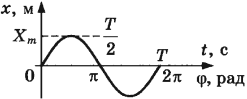
**Гармонические колебания**

**Гармонические колебания** – простейшие периодические колебания, при которых координата тела меняется по закону синуса или косинуса:

https://fizi4ka.ru/wp-content/uploads/2018/01/img_5a6afc80a7c27.png

где ​x​ – координата тела – смещение тела от положения равновесия в данный момент времени; ​A​ – амплитуда колебаний; ​ωt+φ0​ – фаза колебаний; ​ω​ – циклическая частота; ​φ0​ – начальная фаза.

Если в начальный момент времени тело проходит положение равновесия, то колебания являются синусоидальными.



Если в начальный момент времени смещение тела совпадает с максимальным отклонением от положения равновесия, то колебания являются косинусоидальными.

**Скорость гармонических колебаний**  
Скорость гармонических колебаний есть первая производная координаты по времени:

https://fizi4ka.ru/wp-content/uploads/2018/01/img_5a6afd762fa19.png

где ​v​ – мгновенное значение скорости, т. е. скорость в данный момент времени.

*Амплитуда скорости* – максимальное значение скорости колебаний, это величина, стоящая перед знаком синуса или косинуса:

https://fizi4ka.ru/wp-content/uploads/2018/01/img_5a6afd9b1561c.png

**Ускорение гармонических колебаний**  
Ускорение гармонических колебаний есть первая производная скорости по времени:

https://fizi4ka.ru/wp-content/uploads/2018/01/img_5a6afef561116.png

где ​a​ – мгновенное значение ускорения, т. е. ускорение в данный момент времени.

*Амплитуда ускорения* – максимальное значение ускорения, это величина, стоящая перед знаком синуса или косинуса:

https://fizi4ka.ru/wp-content/uploads/2018/01/img_5a6aff4262ab4.png

Если тело совершает гармонические колебания, то сила, действующая на тело, тоже изменяется по гармоническому закону:

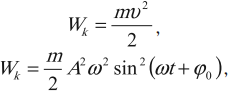
https://fizi4ka.ru/wp-content/uploads/2018/01/img_5a6aff591a2ff.png

где ​F​ – мгновенное значение силы, действующей на тело, т. е. сила в данный момент времени.

*Амплитуда силы* – максимальное значение силы, величина, стоящая перед знаком синуса или косинуса:

https://fizi4ka.ru/wp-content/uploads/2018/01/img_5a6aff7f91959.png

Тело, совершающее гармонические колебания, обладает кинетической или потенциальной энергией:



где ​Wk​ – мгновенное значение кинетической энергии, т. е. кинетическая энергия в данный момент времени.

*Амплитуда кинетической энергии* – максимальное значение кинетической энергии, величина, стоящая перед знаком синуса или косинуса:

https://fizi4ka.ru/wp-content/uploads/2018/01/img_5a6affd2a647c.png

При гармонических колебаниях каждую четверть периода происходит переход потенциальной энергии в кинетическую и обратно.  
В положении равновесия:

* потенциальная энергия равна нулю;
* кинетическая энергия максимальна.

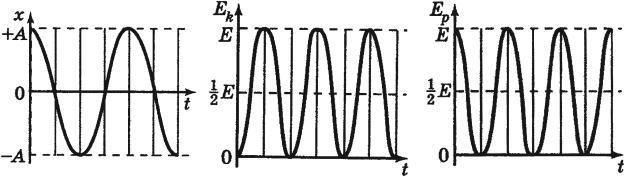
При максимальном отклонении от положения равновесия:

* кинетическая энергия равна нулю;
* потенциальная энергия максимальна.

**Полная механическая энергия гармонических колебаний**  
При гармонических колебаниях полная механическая энергия равна сумме кинетической и потенциальной энергий в данный момент времени:

https://fizi4ka.ru/wp-content/uploads/2018/01/img_5a6b000e03d89.png

**Важно!**  
Следует помнить, что период колебаний кинетической и потенциальной энергий в 2 раза меньше, чем период колебаний координаты, скорости, ускорения и силы. А частота колебаний кинетической и потенциальной энергий в 2 раза больше, чем частота колебаний координаты, скорости, ускорения и силы.



Графики зависимости кинетической, потенциальной и полной энергий всегда лежат выше оси времени.

Если сила сопротивления отсутствует, то полная энергия сохраняется. График зависимости полной энергии от времени есть прямая, параллельная оси времени (в отсутствие сил трения).

**Амплитуда и фаза колебаний**

**Амплитуда колебаний** – модуль наибольшего смещения тела от положения равновесия.  
Обозначение – ​A(Xmax)​, единицы измерения – м.

**Фаза колебаний** – это величина, которая определяет состояние колебательной системы в любой момент времени.  
Обозначение – ​φ​, единицы измерения – рад (радиан).

https://fizi4ka.ru/wp-content/uploads/2018/01/img_5a6b0081762aa.png

Фаза колебаний – это величина, стоящая под знаком синуса или косинуса. Она показывает, какая часть периода прошла от начала колебаний.  
Фаза гармонических колебаний в процессе колебаний изменяется.  
​φ0​ – начальная фаза колебаний.  
*Начальная фаза колебаний* – величина, которая определяет положение тела в начальный момент времени.

**Важно!**  
Путь, пройденный телом за одно полное колебание, равен четырем амплитудам.

**Период колебаний**

**Период колебаний** – это время одного полного колебания.  
Обозначение – ​T​, единицы измерения – с.

https://fizi4ka.ru/wp-content/uploads/2018/01/img_5a6b00c5c5755.png

Период гармонических колебаний – постоянная величина.

**Частота колебаний**

**Частота колебаний** – это число полных колебаний в единицу времени.  
Обозначение – ​ν​, единицы времени – с-1 или Гц (Герц).

1 Гц – это частота такого колебательного движения, при котором за каждую секунду совершается одно полное колебание:

https://fizi4ka.ru/wp-content/uploads/2018/01/img_5a6b00f9f0c17.png

Период и частота колебаний – взаимно обратные величины:

https://fizi4ka.ru/wp-content/uploads/2018/01/img_5a6b01199611e.png

**Циклическая частота** – это число колебаний за 2π секунд.  
Обозначение – ​ω​, единицы измерения – рад/с.

https://fizi4ka.ru/wp-content/uploads/2018/01/img_5a6b0161799be.png

**Свободные колебания (математический и пружинный маятники)**

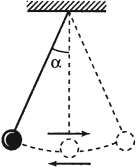
**Свободные колебания** – колебания, которые совершает тело под действием внутренних сил системы за счет начального запаса энергии после того как его вывели из положения устойчивого равновесия.

Условия возникновения свободных колебаний:

* при выведении тела из положения равновесия должна возникнуть сила, стремящаяся вернуть его в положение равновесия;
* силы трения в системе должны быть достаточно малы. При наличии сил трения свободные колебания будут затухающими.

При наличии сил трения свободные колебания будут затухающими.  
Затухающие колебания – это колебания, амплитуда которых с течением времени уменьшается.

**Математический маятник** – это материальная точка, подвешенная на невесомой нерастяжимой нити.



*Период колебаний математического маятника:*

https://fizi4ka.ru/wp-content/uploads/2018/01/img_5a6b02508f81a.png

*Частота колебаний математического маятника:*

https://fizi4ka.ru/wp-content/uploads/2018/01/img_5a6b0273f41fd.png

*Циклическая частота колебаний математического маятника:*

https://fizi4ka.ru/wp-content/uploads/2018/01/img_5a6b02afc049b.png

*Максимальное значение скорости колебаний математического маятника:*

https://fizi4ka.ru/wp-content/uploads/2018/01/img_5a6b02d22ba76.png

*Максимальное значение ускорения колебаний математического маятника:*

https://fizi4ka.ru/wp-content/uploads/2018/01/img_5a6b02f75d4f7.png

*Период свободных колебаний математического маятника, движущегося вверх с ускорением или вниз с замедлением:*

https://fizi4ka.ru/wp-content/uploads/2018/01/img_5a6b031402b5e.png

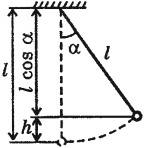
*Период свободных колебаний математического маятника, движущегося вниз с ускорением или вверх с замедлением:*

https://fizi4ka.ru/wp-content/uploads/2018/01/img_5a6b03433431c.png

*Период свободных колебаний математического маятника, горизонтально с ускорением или замедлением:*

https://fizi4ka.ru/wp-content/uploads/2018/01/img_5a6b036814b34.png

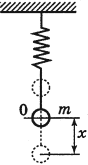
*Мгновенное значение потенциальной энергии* математического маятника, поднявшегося в процессе колебаний на высоту ​h​, определяется по формуле:



https://fizi4ka.ru/wp-content/uploads/2018/01/img_5a6b03c435f9b.png

где ​l​ – длина нити, ​α​ – угол отклонения от вертикали.

**Пружинный маятник** – это тело, подвешенное на пружине и совершающее колебания вдоль вертикальной или горизонтальной оси под действием силы упругости пружины.



*Период колебаний пружинного маятника:*

https://fizi4ka.ru/wp-content/uploads/2018/01/img_5a6b041a2569c.png

*Частота колебаний пружинного маятника:*

https://fizi4ka.ru/wp-content/uploads/2018/01/img_5a6b04381411c.png

*Циклическая частота колебаний пружинного маятника:*

https://fizi4ka.ru/wp-content/uploads/2018/01/img_5a6b046f1c037.png

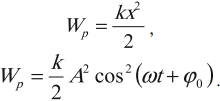
*Максимальное значение скорости колебаний пружинного маятника:*

https://fizi4ka.ru/wp-content/uploads/2018/01/img_5a6b0482df157.png

*Максимальное значение ускорения колебаний пружинного маятника:*

https://fizi4ka.ru/wp-content/uploads/2018/01/img_5a6b049b2d3c6.png

*Мгновенную потенциальную энергию пружинного маятника* можно найти по формуле:



*Амплитуда потенциальной энергии* – максимальное значение потенциальной энергии, величина, стоящая перед знаком синуса или косинуса:

https://fizi4ka.ru/wp-content/uploads/2018/01/img_5a6b04e4a9b90.png

**Важно!**  
Если маятник не является ни пружинным, ни математическим (физический маятник), то его циклическую частоту, период и частоту колебаний по формулам, применимым к математическому и пружинному маятнику, рассчитать нельзя. В данном случае эти величины рассчитываются из формулы силы, действующей на маятник, или из формул энергий.

**Вынужденные колебания**

**Вынужденные колебания** – это колебания, происходящие под действием внешней периодически изменяющейся силы.

Вынужденные колебания, происходящие под действием гармонически изменяющейся внешней силы, тоже являются гармоническими и незатухающими. Их частота равна частоте внешней силы и называется частотой вынужденных колебаний.

**Резонанс**

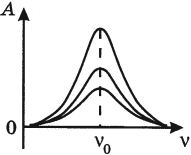
**Резонанс** – явление резкого возрастания амплитуды колебаний, которое происходит при совпадении частоты вынуждающей силы и собственной частоты колебаний тела.

Условие резонанса:

https://fizi4ka.ru/wp-content/uploads/2018/01/img_5a6b050b4b57b.png

​v0​ – собственная частота колебаний маятника.

На рисунке изображены резонансные кривые для сред с разным трением. Чем меньше трение, тем выше и острее резонансная кривая.



Явление резонанса учитывается при периодически изменяющихся нагрузках в машинах и различных сооружениях.  
Также резонанс используется в акустике, радиотехнике и т. д.