

Колебания и волны

Механические колебания и волны

Механическими колебаниями называются движения тел, повторяющиеся (точно или приблизительно) через одинаковые промежутки времени.

Свободными колебаниями называют колебания, возникающие под действием **внутренних сил**.

Пример: груз, подвешенный на пружине:

Условия равновесия:

$$\sum \vec{F}_y + \sum \vec{F}_T = 0$$



1) Хотя бы одна из сил должна зависеть от координат. В положении равновесия равнодействующая всех сил должна быть равна нулю. При выведении из положения равновесия равнодействующая всех сил должна быть не равна нулю и направлена к положению равновесия.

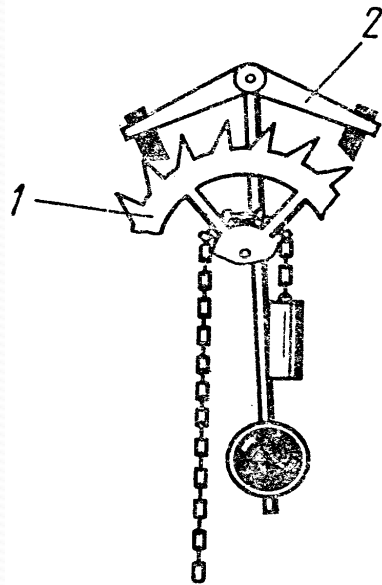
2) Силы трения в системе должны быть достаточно малы.

Свободные механические колебания всегда бывают **затухающими**, т. е. колебаниями с убывающей по времени амплитудой из-за потерь энергии (часть механической энергии переходит во внутреннюю тепловую энергию атомов и молекул).

Колебания под действием **внешних** периодически изменяющихся **сил** называются **вынужденными колебаниями**.

Автоколебания – **незатухающие колебания**, поддерживаемые внутренними источниками энергии при отсутствии воздействия внешней переменной силы.

В автоколебательной системе существуют **три основных элемента** (рассмотрим на примере часов с маятником):



- 1) колебательная система – маятник;
- 2) источник энергии – гиря (или пружина), поднятая над землей;
- 3) устройство с обратной связью, регулирующее поступление энергии от источника в колебательную систему – храповое колесо.

Колебания под действием **внешних** периодически изменяющихся сил называются **вынужденными колебаниями**.

Закон гармонических колебаний

Гармонические колебания – колебания, происходящие по закону \sin или \cos .

$$x = A \sin (\omega t + \varphi_0)$$

где x – смещение тела от положения равновесия в данный момент времени;

A – амплитуда (или максимальное смещение тела) колебания;

$(\omega t + \varphi_0)$ – фаза колебания;

φ_0 – начальная фаза колебания;

ω – круговая (циклическая) частота – число колебаний, совершенных за время 2π с;

круговая частота связана с собственной частотой колебаний ν и с периодом T следующими формулами:

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

где ν – собственная частота колебаний,

T – период колебаний,

$$T = \frac{1}{\nu}$$

ВИДЫ МАЯТНИКОВ

Математический маятник – это некая модель, тело небольших размеров (материальная точка), подвешенное на нерастяжимой невесомой нити.

Период математического маятника *рассчитывается по формуле:*

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

где l – длина маятника;

$g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

Период колебаний **пружинного маятника:**

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

где m – масса колеблющегося тела,

k – жесткость пружины.

Период колебаний **физического маятника:**

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mga}}$$

где – $L = \frac{I}{ma}$ – приведенная длина физического маятника;

I – момент инерции колеблющегося тела относительно оси колебаний;

a – расстояние центра масс маятника от оси колебаний.

Квазиупругая возвращающая сила

Гармонические колебания происходят под действием силы F , пропорциональной смещению тела x из положения равновесия и направленной в сторону положения равновесия:

$$F = -kx,$$

где k – коэффициент пропорциональности.

Мгновенная скорость тела, совершающего гармоническое колебание:

$$v = \frac{dx}{dt} = A\omega \cos(\omega t + \varphi_0) = v_{\max} \cos(\omega t + \varphi_0),$$

где $A\omega = v_{\max}$ – **амплитуда (максимальное значение) скорости**.

Ускорение тела, совершающего гармоническое колебание в данный момент времени:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -A\omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0) = -a_{\max} \sin(\omega t + \varphi_0)$$

где $A\omega^2 = a_{\max}$ – амплитуда ускорения.

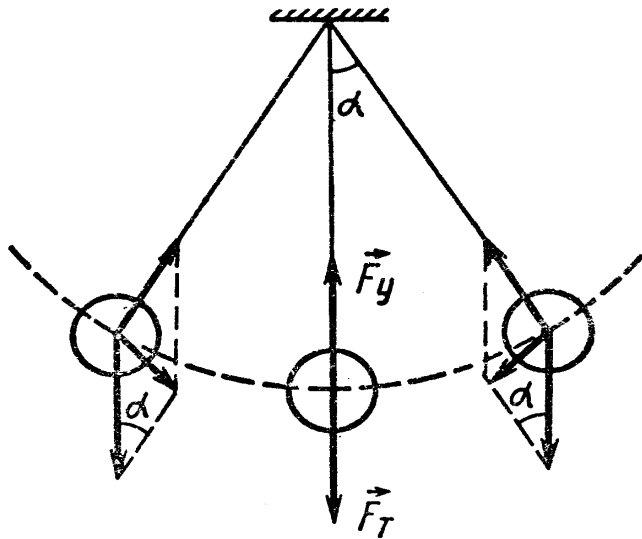
Сила, вызывающая гармонические колебания (упругая или иной природы (квазиупругая)):

$$F = ma = -mA\omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0) = -m\omega^2 x$$

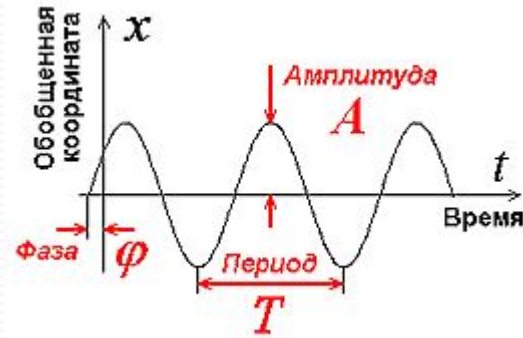
где $mA\omega^2 = F_{\max}$ – амплитуда силы, m – масса колеблющегося тела. Т. к. $F = -kx \Rightarrow k = m\omega^2$.

Полная энергия тела, совершающего гармоническое колебание:

$$W = \frac{mA^2\omega^2}{2} = \frac{kA^2}{2}$$



Волны



Процесс распространения колебаний в упругой среде называется **волной**. Если направление колебаний совпадает с направлением распространения волны, то такая волна называется **продольной** (например, звуковая волна в воздухе). Если направление колебаний \perp направлению распространения волны, то такая волна называется **поперечной** (пример: электромагнитные волны, шнур, волны на поверхности воды).

Вид волны зависит от природы тела, в котором волна распространяется. Механические волны в газообразных средах являются продольными, в твердых телах возможны и продольные, и поперечные волны.

Длина волны – кратчайшее расстояние между двумя точками, колеблющимися в одинаковых фазах:

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

c – скорость световой волны в вакууме.

Скорость распространения звуковой волны зависит от природы материала, в котором волна распространяется, а также от его температуры. Например, при повышении температуры воздуха на 1°C скорость звука возрастает на $0,6$ м/с.

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

- длина световой волны в вакууме,

УРАВНЕНИЕ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ

Колеблющееся тело — источник колебаний (камертон, струна, мембрана и т. д.), находящееся в упругой среде, приводит в колебательное движение соприкасающиеся с ним частицы среды. Колебание этих частиц передается (силами упругости) соседним частицам среды и т. д. Через некоторое время колебание охватит всю среду. **Процесс распространения колебательного движения в среде называется волной. Направление распространения волны (колебаний) называется лучом. Волна называется поперечной, если частицы среды колеблются перпендикулярно лучу. Если колебания частиц среды происходят вдоль луча, волна называется продольной.**

Если точка o совершает колебательное движение в упругой среде по гармоническому закону

$$y = A \sin \omega t,$$

где y — смещение колеблющейся точки;

A — амплитуда (наибольшее смещение точки от положения равновесия);

t — время;

T — период;

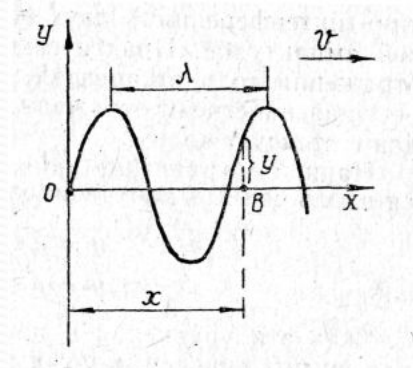
$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad \text{циклическая или круговая частота.}$$

Соседняя точка B среды придет в колебательное движение с некоторым запозданием на время:

$$\tau = \frac{x}{v}$$

где x — расстояние, на которое распространилось колебание от точки O до точки, B ;

v — скорость распространения колебания от o до B .



Тогда уравнение колебаний в точке В запишется:

$$y = A \sin \omega (t - \tau) = A \sin \left(\omega t - \frac{\omega x}{v} \right)$$

Соотношение, позволяющее определить смещение любой точки среды в любой момент времени, называется **уравнением бегущей плоской синусоидальной волны**.

Длиной волны (λ) называется **расстояние между соседними точками, находящимися в одинаковой фазе, т. е. расстояние, пройденное волной за один период колебания**, следовательно:

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

где ν — частота колебания частиц среды (частота волны). Колебания частиц среды имеют ту же частоту, что и колебания источника волн. Волны, частоты колебаний в которых лежат в пределах от 16 до 20000 Гц, называют звуковыми. В звуковой или акустической волне происходят механические колебания частиц среды с малыми амплитудами.

Подставляя в уравнение $\nu = \frac{\lambda}{T}$ и учитывая, что $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$, получим другие формы записи уравнения волны:

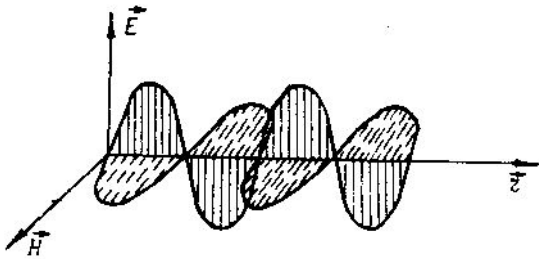
$$y = A \sin 2\pi(t/T - x/\lambda) = A \sin 2\pi (vt - x/\lambda) = A \sin(\omega t - 2\pi x/\lambda),$$

где $\frac{2\pi}{\lambda} = k$ — **волновое число**, которое показывает, сколько длин волн укладывается

на отрезке длиной 2π . Тогда уравнение волны запишется:

$$y = A \sin(\omega t - kx)$$

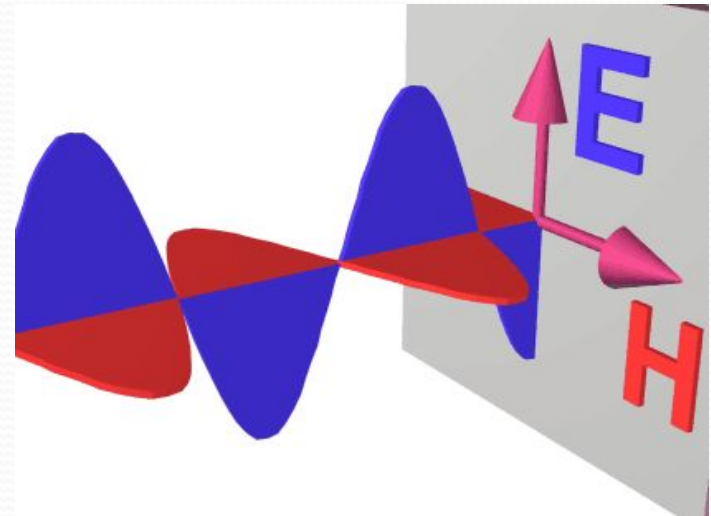
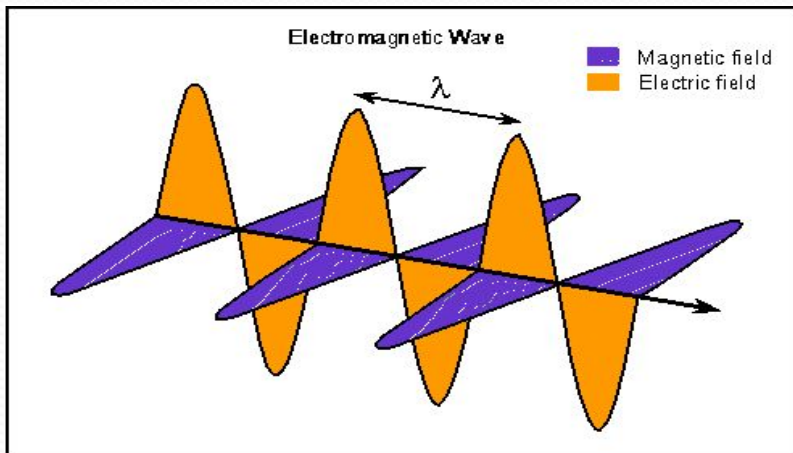
Электромагнитная волна



Свет, излучаемый отдельным атомом, представляет собой поперечную электромагнитную волну, т. е. совокупность двух взаимно перпендикулярных волн — электрической (образованной колебанием вектора напряженности \vec{E} электрического поля) и магнитной (образованной колебанием вектора напряженности \vec{H} магнитного поля), идущих вдоль общей прямой \vec{r} называемой световым лучом

Опыт и теория показывают, что химическое, физиологическое и другие воздействия света на вещество обусловлены электрическими колебаниями (колебаниями вектора \vec{E}).

В дальнейших рассуждениях будем говорить только о векторе \vec{E} , имея в виду, что $\vec{H} \perp \vec{E}$ в любой точке луча.



ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

ИСТОЧНИКИ

ОБЪЕКТЫ

СПЕКТР

ПРИЕМНИКИ



Обзоры (в эллипсах) показывают, как выглядит небо, если смотреть на него в разных диапазонах спектра. Горизонтальная ось во всех обзорах — галактический экватор. Наша Галактика почти всегда доминирует на небе.

Основные соотношения
 $\lambda = c/v$
 $E = h \cdot \nu$
 $E = mc^2$
 $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с — постоянная Планка
 $c = 3 \cdot 10^8$ м/с — скорость света

Гамма-излучение
 СВЕРХВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ
 $E = 100 \text{ кэВ} - 10^{11} \text{ эВ}$
 $\lambda = 10^{-12} - 10^{-10} \text{ м}$

Жесткое
 $E = 10 \text{ кэВ} - 10^5 \text{ эВ}$
 $\lambda = 10^{-11} - 10^{-8} \text{ м}$

Мягкое
 $E = 100 \text{ эВ} - 10^3 \text{ эВ}$
 $\lambda = 10^{-10} - 10^{-7} \text{ м}$

Рентген
 $E = 10 \text{ эВ} - 10^5 \text{ эВ}$
 $\lambda = 10^{-11} - 10^{-8} \text{ м}$

Ультрафиолет
 $E = 10 \text{ эВ} - 10^5 \text{ эВ}$
 $\lambda = 10^{-11} - 10^{-8} \text{ м}$

Видимый свет
 $E = 1.7 \text{ эВ} - 3 \text{ эВ}$
 $\lambda = 400 - 700 \text{ нм}$

Инфракрасный
 $E = 0.01 \text{ эВ} - 1 \text{ эВ}$
 $\lambda = 10^{-6} - 10^3 \text{ м}$

Радиоизлучение
 СВЧ (Микроволны)
 $E = 10^{-9} - 10^{-1} \text{ эВ}$
 $\lambda = 10^{-2} - 10^3 \text{ м}$

СВ
 $E = 10^{-14} - 10^{-18} \text{ эВ}$
 $\lambda = 10^3 - 10^8 \text{ м}$

Гамма-излучение
 Гамма-обсерватория INTEGRAL
 Гамма-телескоп Swift (NASA)

Рентген
 Рентгеновский телескоп Чандра
 Рентгеновский телескоп XMM-Newton

Ультрафиолет
 Любительский телескоп
 ИК-телескоп Спитцер

Видимый свет
 24-метровый оптический телескоп «Магеллан» (Стратосфера)

Инфракрасный
 ИК-телескоп Спитцер

Радиоизлучение
 Микроволновый зонд WMAP
 Микроволновый радиолокационный зонд

СВЧ
 Микроволновый радиолокационный зонд

СВ
 Радиоприемники

За пределами электромагнитного спектра
 Большая часть информации человек получает благодаря зрению, то есть улавливая электромагнитное излучение в узком диапазоне видимого света. Но мир неогромен и разнообразен, и большинство его объектов не испускают свет в том диапазоне, в котором мы живем. Мы не можем увидеть инфракрасное излучение, но эффективный канал получения информации. Человек чувствует тепло близких нагретых предметов, а астроном регистрирует нейтрино — едва уповные частицы, которые в космических масштабах рождаются в недрах звезд и в том числе Солнца, и беспрепятственно вылетают наружу. Человек воспринимает звуки, переносимые лучами звуковых волн. Аналог в астрономии — космические лучи — энергичные заряженные частицы, в основном протоны, которые распространяются до огромных расстояний в разных космических масштабах, а потом достигают до Земли. У человека есть осязание, и астрономы могут посылать космическое вещество — упавшие на Землю метеориты, грунт соседних небесных тел, проток частицы пыли и газа, собранные в носокоса. А человек способен астрономии долгие годы и тысячелетия — способность регистрировать трансформации волны, исследовать электромагнитное излучение, исследовать расширяющиеся огромные массы, например, нейтронных звезд и черных дыр.



Узнай больше, поделись мыслями на сайте elementy.ru

ЭЛЕМЕНТЫ
 elementy.ru