



Виртуальный курс физики

Колебания и волны

**Лекция 12. Механические колебания и
волны.**

ТЕОРИЯ, ЗАДАЧИ, ПОДГОТОВКА К ЕГЭ

Уважаемые друзья!

Вы выбрали Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I и поступили, несомненно, правильно!

Наш университет основан в 1809 году. Это старейший инженерный транспортный вуз России. Это "особенный институт" - так в манифесте назвал его Император Александр I.

Для того, чтобы успешно пройти вступительные испытания и стать студентом одного из лучших технических вузов России, необходимо иметь высокую подготовку по физике.

Как правило, уровень подготовки выпускников школ не всегда соответствует требованиям, предъявляемым к поступающим в высшие учебные заведения. Повысить этот уровень и качественно подготовиться к вступительным испытаниям по физике в технический университет помогут преподаватели факультета довузовской подготовки.

Факультет довузовской подготовки организует и проводит курсы по подготовке к поступлению в вуз по программам, соответствующим требованиям ЕГЭ.

Занятия проводятся по очной и заочной формам обучения. Занятия по очной форме обучения проводятся в дневное время - с 16.25 (тел. [457-84-04](tel:457-84-04)), и в вечернее время - с 18.00 (тел. [457-87-83](tel:457-87-83)). Мы с удовольствием ответим на все Ваши вопросы.

Факультет довузовской подготовки

***Курс дистанционного обучения по физике
изложен в авторской редакции доцента
Петербургского государственного университе-
та путей сообщения Императора Александра I
Кытина Юрия Александровича***

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Лекция 12.

Тема: Гармонические колебания. Математический маятник. Колебания груза на пружине. Вынужденные колебания. Резонанс. Волны в упругой среде. Звуковые волны.

Колебаниями называются движения или изменения состояния, которые в той или иной степени повторяются во времени. По физической природе различают механические, электромагнитные и другие виды колебаний. Все виды колебаний имеют общие закономерности, и для их описания применяются одни и те же математические методы.

12.1. Гармонические колебания

Простейшим видом колебательного движения являются гармонические колебания.

Гармоническими колебаниями называются колебания, при которых физическая величина x изменяется с течением времени по закону синуса или косинуса:

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

где x – значение колеблющейся физической величины; A – *амплитуда* колебаний – величина, равная максимальному значению x ; $\omega t + \varphi_0$ – *фаза* колебаний – величина, определяющая значение x в любой момент времени t ; φ_0 – *начальная фаза* колебаний – величина, определяющая значение x в начальный момент времени $t = 0$.

Промежуток времени T , в течение которого совершается одно полное колебание, называется *периодом колебаний*.

Число полных колебаний ν , совершаемых в единицу времени, называется *частотой колебаний*:

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

Единицей измерения частоты в СИ служит герц (Гц). Герц – частота, при которой за 1с совершается одно полное колебание.

Циклической, или круговой, частотой колебаний ω называется число полных колебаний совершаемых за 2π единиц времени:

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

С использованием выражений для T , ν и ω уравнение гармонических колебаний можно записать также следующим образом:

$$x = A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi_0\right) = A \sin(2\pi\nu t + \varphi_0).$$

Гармонические колебания, которые совершает колебательная система, выведенная из положения равновесия и не подверженная действию переменных внешних сил, называются *свободными гармоническими колебаниями*, а циклическая частота ω_0 , с которой совершаются эти колебания, называется *собственной циклической частотой*. Свободные колебания, при которых не происходит рассеяния энергии, называются *незатухающими*.

12.2. Математический маятник

Математическим маятником называется материальная точка, подвешенная на нерастяжимой невесомой нити, совершающая колебания в вертикальной плоскости под действием силы тяжести. Если математический маятник вывести из положения равновесия, отклонив его на малый угол α от вертикали (рис. 12.1), то под действием силы тяжести mg и силы

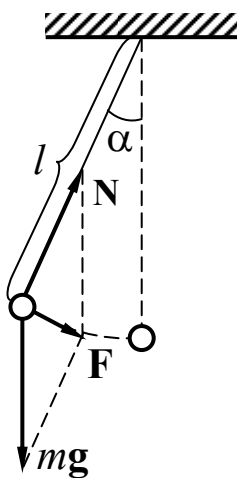


Рис. 12.1

натяжения нити \mathbf{N} он будет совершать свободные гармонические колебания с собственной циклической частотой ω_0 и периодом T :

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}, \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}},$$

где l – длина нити маятника; g – ускорение свободного падения.

Равнодействующая \mathbf{F} силы тяжести mg и силы натяжения \mathbf{N} нити, равная $F = mg \sin \alpha$, называется *возвращающей силой*.

12.3. Колебания груза на пружине

Груз, подвешенный на пружине, представляет собой *пружинный маятник*. Если такой груз вывести из положения равновесия и предоставить самому себе, то под действием силы упругости $F_{\text{упр}}$, направленной против смещения (рис. 12.2), пружинный маятник будет совершать свободные гармонические колебания с *собственной циклической частотой* ω_0 и периодом T :

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}},$$

где m – масса груза; k – коэффициент упругости пружины.

Возвращающей силой при колебаниях пружинного маятника служит сила упругости, которая в соответствии с законом Гука равна

$$F_{\text{упр}} = k\Delta x.$$

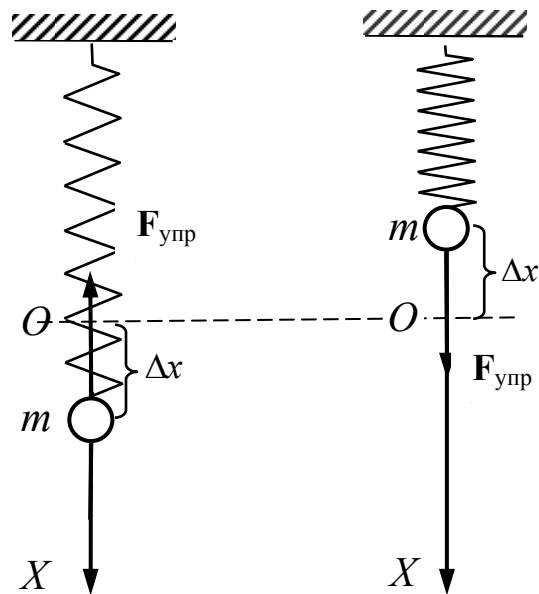


Рис. 12.2

12.4. Превращение энергии при гармонических колебаниях

Гармонические колебания сопровождаются периодическими взаимными превращениями кинетической и потенциальной энергии колебательной системы.

При колебаниях математического маятника потенциальная энергия $W_{\text{п}} = mgh$ (h – высота подъема маятника над нулевым уровнем) по мере приближения его к положению равновесия переходит в кинетическую энергию $W_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}$ (v – скорость маятника). В положении равновесия скорость маятника v и его кинетическая энергия $W_{\text{к}}$ принимают максимальные значения, а высота h и потенциальная энергия $W_{\text{п}}$ становятся равными нулю. После прохождения положения равновесия кинетическая энергия переходит в потенциальную, и процесс повторяется. В соответствии с законом сохранения механической энергии

полная энергия математического маятника в любой момент времени остается постоянной:

$$W = mgh + \frac{mv^2}{2} = \text{const.}$$

При колебаниях пружинного маятника происходит периодическое преобразование энергии упругой деформации $W_{\text{п}} = \frac{k\Delta x^2}{2}$ (Δx – отклонение маятника от положения равновесия, k – коэффициент упругости пружины) в кинетическую энергию груза $W_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}$ (v – скорость груза). В положении равновесия v и $W_{\text{к}}$ принимают максимальное значение, а Δx и $W_{\text{п}}$ становятся равными нулю. После прохождения положения равновесия пружина начинает сжиматься, и процесс перехода энергии из одного вида в другой повторяется. Полная энергия пружинного маятника в соответствии с законом сохранения механической энергии остается постоянной:

$$W = \frac{k\Delta x^2}{2} + \frac{mv^2}{2} = \text{const.}$$

12.5. Вынужденные колебания. Резонанс

В реальных колебательных системах всегда присутствуют силы сопротивления, на преодоление которых расходуется энергия колебаний. Если эти потери энергии компенсировать путем периодического подвода энергии извне, колебания будут *незатухающими*.

Незатухающие колебания, совершающиеся под действием внешних периодических сил, называются *вынужденными колебаниями*. К такому типу колебаний относится, например, изменение силы переменного тока в электрической цепи, происходящее под действием внешней периодически действующей ЭДС.

Сила F , под действием которой совершаются вынужденные колебания, называется *вынуждающей силой*. Если вынуждающая сила изменяется по гармоническому закону с циклической частотой ω ($F = F_0 \cos \omega t$, где F_0 – амплитудное значение силы), то в колебательной системе установятся вынужденные гармонические колебания, которые совершаются с такой же частотой:

$$x = A \cos(\omega t + \varphi),$$

где A – амплитуда вынужденных колебаний; φ – начальная фаза колебаний.

Амплитуда A зависит от соотношения между частотой ω вынуждающей силы и собственной частотой ω_0 колебательной системы: амплитуда A вынужденных колебаний увеличивается при приближении частоты ω вынуждающей силы к собственной частоте ω_0 колебательной системы. Это явление называется *резонансом*, а частота $\omega_{рез}$, при которой амплитуда достигает максимального значения, называется *резонансной частотой*.

Кривые зависимости амплитуды A от частоты ω (рис.12.3) называются *резонансными кривыми*. Форма этих кривых и значение A_{max} зависят от характера сил сопротивления среды, в которой совершаются колебания. Резонансная амплитуда тем больше (кривые 1, 2), чем меньше сопротивление среды. Резонансная кривая 3 относится к случаю, когда сопротивление в среде отсутствует. Если на колеблющуюся систему действует постоянная сила, то колебания не совершаются, и отклонение системы от положения равновесия A_0 называется *статической амплитудой*.

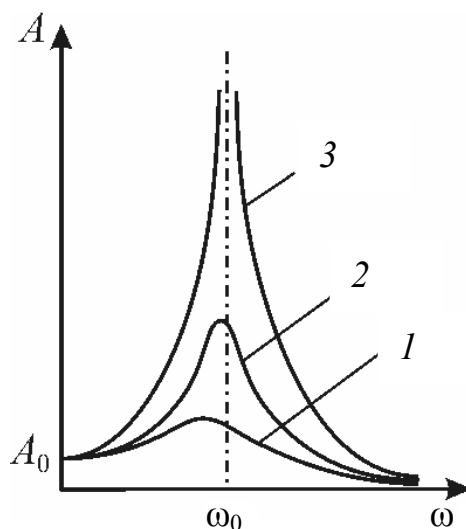


Рис. 12.3

Явление резонанса используется в разных областях техники – в акустике, электротехнике и т. д. При эксплуатации различных конструкций, находящихся под воздействием периодических внешних нагрузок, явление резонанса может приводить к их выводу из строя.

12.6. Волны в упругой среде

Волновым движением, или *волной*, называется распространение колебаний в упругой среде.

Упругой средой называется среда, между частицами которой существуют взаимодействия, препятствующие какой-либо деформации среды или смещению ее частиц. Волны, распространяющиеся в такой среде, называются *упругими волнами*.

Фронт волны называется геометрическое место точек, до которых в данный момент времени распространилась волна. В *плоской волне* фронты волны представляют собой плоскости, перпендикулярные направлению распространения волны. В *сферической волне* фронт волны представляет собой сферу.

В зависимости от направления колебаний частиц среды относительно направления распространения волны различают продольные и поперечные волны.

В *продольных* волнах частицы среды колеблются вдоль направления распространения волны. Если частицы среды колеблются перпендикулярно направлению распространения волны, то такие волны называются *поперечными*. Продольные волны распространяются в твердых, жидких и газообразных средах, поперечные – в твердых телах.

Скоростью распространения волны называется скорость движения *фронта волны*. Скорость упругих волн зависит от свойств среды, в которых они распространяются, и внешних условий. Вектор скорости волны \mathbf{v} перпендикулярен фронту волны и направлен в сторону распространения волны.

Длина волны λ – расстояние, на которое распространяется волна за время, равное периоду T колебаний частиц среды:

$$\lambda = vT.$$

Так как $T = \frac{1}{\nu} = \frac{2\pi}{\omega}$, длина волны

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

где ν – частота колебаний; ω – циклическая частота.

Колебания частиц среды, находящихся на расстоянии x от источника колебаний, происходят с запаздыванием по времени на Δt $\left(\Delta t = \frac{x}{v}\right)$ и по фазе колебаний на $\Delta\varphi$. За время $\Delta t = T$ фаза колебаний в источнике изменяется на $\Delta\varphi = 2\pi$, поэтому

$$\frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T}.$$

Запаздывание колебаний точек среды, удаленных на расстояние x от источника по фазе, равно

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi x}{vT} = \frac{2\pi x}{\lambda}.$$

Если $x = \lambda$, то $\Delta\varphi = 2\pi$, и поэтому длиной волны λ называют также расстояние между двумя ближайшими точками волны, колеблющимися в одинаковой фазе, т. е. с разностью фаз $\Delta\varphi = 2\pi$.

12.7. Звуковые волны

Механические волны с частотой колебаний от 16 до 20000 Гц, воздействуя на органы слуха человека, вызывают ощущение звука.

Источником звука являются колеблющиеся тела. Вокруг колеблющегося тела образуются сгущения и разрежения окружающей среды, которые, распространяясь в ней, образуют звуковую волну. Звук распространяется только в упругой среде. Скорость звука зависит от упругих свойств среды, ее плотности и температуры. Так, например, скорость распространения звука в воздухе при нормальных условиях равна 330 м/с.

Восприятие звука зависит от того, какие частоты входят в состав звука. Звуки, имеющие непрерывный набор частот в некотором интервале, воспринимаются как *шумы*.

Звуки, обладающие дискретным набором частот, называются *музыкальными*, или *тональными*.

Музыкальные звуки субъективно различаются по *высоте*, *тембру* и *громкости*.

Каждая синусоидальная звуковая волна называется *тоном*. *Высота тона* зависит от частоты колебаний: чем больше частота, тем выше тон волны. *Основной тон* музыкального звука определяется наименьшей частотой, входящей в набор частот данного звука. Тоны, соответствующие другим частотам тонального звука, называются *обертонами*.

Тональные звуки с одним и тем же основным тоном отличаются *тембром*. Тембр звука создается набором обертонов: их частотами и амплитудами, характером нарастания и спада амплитуд во время звучания.

Субъективная характеристика звука (*громкость*) определяется амплитудой колебаний частиц в звуковой волне. Наиболее чувствительны органы слуха к звукам с частотой в диапазоне от 700 до 6000 Гц.

Наименьшая интенсивность звука, воспринимаемая органом слуха, называется *порогом слышимости*. *Стандартный порог слышимости* при частоте, равной 1 кГц, принимается равным 10^{-12} Вт/м².

Наибольшая интенсивность звуковой волны, при которой звук еще не вызывает болевых ощущений, называется *порогом осязаемости* (порогом болевого ощущения). Эта величина зависит от частоты звука и, например, при частоте 6000 Гц составляет 0,1 Вт/м².

Звуковые волны от $2 \cdot 10^4$ до 10^{13} Гц называются *ультразвуком*. Ультразвуки с частотами свыше 19 Гц называются *гиперзвуком*. Ультразвуки применяются в таких областях техники, как ультразвуковая дефектоскопия, гидролокация, а также в различных технологических процессах. Ультразвуковые колебания получают с помощью специальных излучателей. Так, например, пьезоэлектрический излучатель генерирует

ультразвуки с частотой до 50 МГц. Его действие основано на явлении, заключающемся в том, что некоторые кристаллы изменяют свои размеры в переменном электрическом поле и совершают при этом вынужденные механические колебания, которые являются ультразвуком.

От авторов

Возникли трудности в усвоении теоретического курса или в его применении при решении конкретных задач, тестов – записывайтесь на наши курсы и мы поможем Вам подойти к экзамену во всеоружии.

Наш адрес:

190031, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, дом 9, ПГУПС, факультет довузовской подготовки.

Наши телефоны отдела заочной формы обучения:

8 (931) 214-51-45;

8 (812) 457-88-07 .

