

**Механика** изучает механическое движение, условия и причины, вызывающие данное движение, а также условия равновесия тел. **Механическим движением** называется изменение положения тела или его частей относительно других тел с течением времени. Всякое движение относительно. Характер движения зависит от того, относительно каких тел мы рассматриваем данное движение. Тело, относительно которого мы рассматриваем положение других тел в пространстве, называется **телом отсчета**. **Системой отсчета** называют систему координат, связанную с телом отсчета, и выбранный метод отсчета времени, т.е. часы. Выбор системы отсчета зависит от условий данной задачи. Движение реальных тел, как правило, сложное. Поэтому для упрощения рассмотрения движений пользуются **законом независимости движений**: всякое сложное движение можно представить как сумму независимых простейших движений. К простейшим движениям относятся поступательное и вращательное. В физике широко используются модели, которые позволяют из всего многообразия физических свойств выбрать главное, определяющее данное физическое явление. Одним из первых моделей реальных тел являются материальная точка и абсолютно твердое тело. **Материальной точкой** называется тело, размером и формой которого можно пренебречь в условиях данной задачи. **Абсолютно твердым телом** называется тело, расстояние между любыми двумя точками которого остается постоянным при его движении. Эти модели позволяют исключить деформацию тел при движении. **Поступательным** называется движение, при котором отрезок, соединяющий любые две точки твердого тела, перемещается при движении параллельно самому себе. Из этого следует, что все точки тела при поступательном движении движутся одинаково, т.е. с одинаковыми скоростями и ускорениями. Примером поступательного движения может служить движение кабины “чертова колеса”. **Вращательным** называется движение, при котором все точки абсолютно твердого тела движутся по окружностям, центры которых лежат на одной прямой, называемой осью вращения, причем эти окружности лежат в плоскостях, перпендикулярных оси вращения. Пользуясь **законом независимости движений**, сложное движение твердого тела можно рассматривать как сумму поступательного и вращательных движений. Одним из первых разделов механики является **кинематика**, изучающая механическое движение тел без выяснения причин, вызывающих данное движение. **Перемещение** ( $s$  – вектор, соединяющий начальную и конечную точки траектории, по которой двигалась материальная точка некоторый промежуток времени ( $t$ ). **Траектория** – линия, описываемая при движении материальной точкой в пространстве. **Путь**  $l$  – сумма длин отрезков траектории. При прямолинейном движении (траектория – прямая линия) модуль перемещения ( $s$  равен длине пути  $l$ , если движение происходит в одном направлении. Быстрота изменения положения материальной точки в пространстве с течением времени характеризуется **средней и мгновенной скоростями**. **Средняя скорость** – векторная величина, равная отношению перемещения к промежутку времени, за которое это перемещение произошло:  $v_{ср} = (s/t$ . **Мгновенной скоростью** называется предел отношения перемещения ( $s$  к промежутку времени ( $t$ , за которое это перемещение произошло, при стремлении ( $t$  к нулю:  $v_{мгн} = \lim(t \rightarrow 0) (s/t$ . **Равномерным прямолинейным движением** называется движение, при котором материальная точка за любые равные промежутки времени совершает одинаковые перемещения. При этом движении мгновенная скорость совпадает со средней:  $v_{мгн} = v_{ср} = (s/t$ . Величина, характеризующая быстроту изменения скорости, называется **ускорением**. **Среднее ускорение** – величина, равная отношению изменения скорости к промежутку времени, за которое это изменение произошло:  $a_{ср} = (v/t$ . Если  $v_1$  и  $v_2$  – мгновенные скорости в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$  то ( $v=v_2-v_1$ , ( $t=t_2-t_1$ . **Мгновенное ускорение** – ускорение тело в данный момент времени. Это физическая величина, равная пределу отношения изменения скорости к промежутку времени, за которое это изменение произошло, при стремлении промежутка времени к нулю:  $a_{мгн} = \lim(t \rightarrow 0) (v/t$ .

**Второй закон Ньютона**. Ускорение, с которым движется тело прямо пропорционально силе, действующей на тело, и обратно пропорционально его массе и совпадает по направлению с действующей силой:  $a=F/m$ . Если на тело действуют несколько сил, то под  $F$  понимают результирующую всех сил. Движение твердого тела зависит не только от приложенных сил, но и от точки их приложения. Можно показать, что ускорение центра тяжести (центра масс) не зависит от точки приложения сил и справедливо уравнение  $ma = F^1 + F^2 + F^3 + \dots$ , где  $m$  – масса тела,  $a$  – ускорение его центра тяжести. Если тело движется поступательно, то это уравнение полностью описывает движение тела. **Третий закон Ньютона**. Всякому действию всегда есть равное и противоположно направленное противодействие. Так, если взаимодействуют два тела  $A$  и  $B$  с силами  $F_1$  и  $F_2$ , то эти силы равны по величине, противоположны по направлению, направлены вдоль одной прямой и приложены к разным телам. **Первый закон Ньютона** необходим для того, чтобы определить те системы отсчета, в которых справедлив второй закон Ньютона. Системы отсчета, в которых выполняется 1-й закон Ньютона, называются **инерциальными**, те системы отсчета, в которых 1-й закон не выполняется, – **неинерциальными**. В связи с важностью изложенного еще раз сформулируем **первый закон Ньютона**: существуют такие системы отсчета, называемые **инерциальными**, в которых тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, если на него не действуют силы или действие сил скомпенсировано. Очевидно, что если есть одна инерциальная система отсчета, то любая другая, движущаяся относительно ее равномерно и прямолинейно, является также инерциальной системой отсчета. **Импульс тела**  $p$  – физическая величина, равная произведению массы тела на его скорость:  $p=mv$ . **Импульс силы** – физическая величина, равная произведению силы на промежуток времени, в течении которого эта сила действует,  $F(t$ . 2-й закон Ньютона может быть сформулирован следующим образом: Изменение импульса тела равно импульсу подействовавшей на него силы, т.е. ( $p=F(t$ . Если на тело действуют несколько сил, то в этом случае берется результирующий импульс всех сил, подействовавших на тело. В проекциях на оси координат  $x, y, z$  это уравнение может быть записано в виде ( $p_x = F_x(t$ , ( $p_y = F_y(t$ , ( $p_z = F_z(t$ . Из этого следует, что если, например,  $F_y(t=0$  и  $F_z(t=0$ , то происходит изменение проекции импульса только на одно направление, и обратно, если изменяется проекция импульса только на одну из осей, то, следовательно, импульс силы, действующей на тело, имеет только одну проекцию, отличную от нуля. Совокупность  $n$  воздействующих тел называется **системой тел**. Введем понятие **внешних и внутренних сил**. Внешними силами называются силы, действующие на тела системы со стороны тел, не входящих в нее. Внутренними силами называются силы, возникающие в результате взаимодействия тел, входящих в систему. Рассмотрим систему из двух взаимодействующих тел 1 и 2. На тело 1 действует внешняя сила  $F_{внеш1}$  и внутренняя сила (со стороны второго тела)  $F_{внутр1}$ . На второе тело действуют силы  $F_{внеш2}$  и  $F_{внутр2}$ . Изменение импульса тела за промежуток времени равно ( $p_1 = F_{внутр1}(t + F_{внеш1}(t$  изменение импульса второго тела: ( $p_2 = F_{внутр2}(t + F_{внеш2}(t$ . Суммарный импульс системы равен  $p = p_1 + p_2$ . Сложив левые и правые части уравнений, получим изменение суммарного импульса системы: ( $p = (F_{внутр1} + F_{внутр2})(t + (F_{внеш1} + F_{внеш2})(t$ . По третьему закону

Ньютона  $F_{\text{внутр}1} = -F_{\text{внутр}2}$ , откуда  $p = F_{\text{внеш}}(t)$ , где  $F_{\text{внеш}}(t)$  – резонирующий импульс внешних сил, действующих на тела системы. Итак, это уравнение показывает, что импульс системы может измениться только под действием внешних сил. **Закон сохранения импульса** можно сформулировать следующим образом: Импульс системы сохраняется, если результирующий импульс внешних сил, действующих на тела, входящих в систему, равен нулю. Системы, в которых на тела действуют только внутренние силы, называются **замкнутыми**. Очевидно, что в замкнутых системах импульс системы сохраняется. Однако и в незамкнутых системах в некоторых случаях можно использовать закон сохранения импульса. Перечислим эти случаи.

1. Внешние силы действуют, но их результирующая равна 0. 2. Проекция внешних сил на какое-то направление равна 0, следовательно, проекция импульса на это направление сохраняется, хотя сам вектор импульса не остается постоянным. 3. Внешние силы много меньше внутренних сил ( $F_{\text{внеш}} < F_{\text{внутр}}$ ). Изменение импульса каждого из тел практически равно  $F_{\text{внутр}}(t)$ .

**Динамика** – раздел механики, в котором изучается движение тел под действием приложенных к нему сил. В основе динамики лежат три закона Ньютона. **Первый закон Ньютона** – закон инерции. Всякое тело стремится сохранить состояние покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока на него не действует сила. Состояние покоя или равномерного прямолинейного движения с точки зрения динамики не различаются ( $a=0$ ). **Масса**  $m$  является количественной мерой инертности тел.

**Сила**  $F$  мера взаимодействия тел. Любое изменение характера движения тела, любое ускорение есть результат действия на тело других тел. Воздействие одного тела на другое может происходить при непосредственном соприкосновении тел или посредством силовых полей. Различают поле тяготения, электрическое и магнитное поля. Рассмотрим основные силы. 1. Сила, вызванная деформацией тел и препятствующая изменению объема тела, называется **силой упругости**. Деформация называется упругой, если после снятия внешнего воздействия тело возвращается в исходное состояние. При небольших деформациях растяжения или сжатия  $x$  сила упругости прямо пропорциональна деформации и направлена в сторону противоположную ей.  $F_{\text{упр}} = -kx$ , где  $k$  – коэффициент упругости, зависящий от свойств материала и геометрии деформируемого тела. Сила упругости препятствует деформации. Для характеристики упругих свойств вещества вводится величина  $E$ , называемая **модулем Юнга**. **Напряжение**  $\sigma$ , возникающие в твердом теле, равно  $\sigma = F/S$ , где  $S$  площадь поперечного сечения твердого тела, на которое воздействует сила  $F$ . Относительная деформация  $((x/l_0)$ , где  $l_0$  – длина тела до деформации пропорциональна напряжению, возникающему в твердом теле (**закон Гука**).  $((1/E)$ . Физический смысл модуля Юнга состоит в следующем: величина  $E$  численно равна напряжению, возникшему в твердом теле при относительной деформации, равной единице. Из физического смысла модуля Юнга следует, что  $E$  является большим по величине.

2. **Сила трения**. Трение, возникающие при относительном перемещении сухих поверхностей твердого тела, называется сухим трением. Различают три вида сухого трения: трение покоя, скольжения и качения. Если на тело действует сила  $F$ , но тело сохраняет состояние покоя (неподвижно относительно поверхности, на которой оно находится), то это означает, что на тело одновременно действует сила, равная по величине и противоположная по направлению, – **сила трения покоя**. Сила трения покоя всегда равна по величине и противоположна по направлению внешней действующей силе:  $F_{\text{тр.покоя}} = -F$ . **Сила трения скольжения** определяется из соотношения:  $F_{\text{тр}} = kN$ , где  $k$  – коэффициент трения, зависящий от шероховатости и от физических свойств соприкасающихся поверхностей,  $N$  – сила реакции опоры, эта сила определяет насколько тело прижато к поверхности, по которой оно движется. Сила трения покоя изменяется по величине от 0 до максимального значения. Сила трения скольжения всегда направлена в сторону, противоположную скорости движения тела относительно поверхности, по которой оно движется. **Сила трения качения** мала по сравнению с силой трения скольжения. При больших скоростях сопротивление перекачиванию резко увеличивается и тогда следует рассматривать силу трения скольжения.

3. Все тела притягиваются друг к другу. Для материальных точек (или шаров) **закон всемирного тяготения** имеет вид  $F = Gm_1m_2/r^2$ , где  $m_1, m_2$  – массы тел,  $r$  – расстояние между материальными точками или центрами шаров,  $G$  – гравитационная постоянная. Массы, входящие в этот закон, есть мера гравитационного взаимодействия тел. Опыт показывает, что гравитационная и инертная массы равны. Физический смысл  $G$ : гравитационная постоянная численно равна силе притяжения, действующей между двумя материальными точками или шарами массами 1 кг, расположенными на расстоянии 1 м друг от друга,  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$ . Если тело массы  $m$  находится над поверхностью земли на высоте  $h$ , то на него действует **сила тяготения**, равная  $F = GmM_3/(R_3 + h)^2$ , где  $M_3$  – масса Земли,  $R_3$  – радиус Земли. Вблизи земной поверхности на все тела действует сила, обусловленная притяжением, – **сила тяжести**. **Сила тяжести**  $F_t$  определяется силой притяжения земли и тем, что Земля вращается вокруг собственной оси. В связи с малостью угловой скоростью вращения Земли ( $\omega = 7,27 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ ) сила тяжести мало отличается от силы тяготения. При  $h < R_3$  ускорение, создаваемое силой тяжести, является ускорением свободного падения:  $g = G/M_3R_3^2 = 9,81 \text{ м/с}^2$ . Очевидно, что ускорение свободного падения для всех тел одинаково.

4. **Весом тела** называется сила, с которой тело действует на горизонтальную опору или растягивает вертикальный подвес, и эта сила приложена либо к опоре, либо к подвесу.

Пусть на тело действует постоянная сила  $F$  и тело перемещается на  $s$ . Механическая работа равна произведению модулей силы и перемещения точки приложения силы на косинус угла между вектором силы и вектором перемещения:  $A = F(s \cos \alpha)$ . Проекция силы на вектор перемещения равна  $F_s = F \cos \alpha$ , следовательно,  $A = F_s s$ . **Механическая энергия** характеризует способность тела совершать механическую работу. Полная механическая энергия тела складывается из **кинетической и потенциальной энергии**. **Кинетическая энергия** – это энергия, которой обладает движущееся тело. Пусть на тело  $m$  действует сила  $F$ , перемещение тела  $s$ . Работа силы  $F$  равна  $A = F(s \cos \alpha)$ . Согласно 2-му закону Ньютона,  $F = ma$ . Если в точках 1 и 2 скорость тела  $v_1$  и  $v_2$ , то  $s = (v_2^2 - v_1^2)/2a$ . Подставив эти выражения, получим  $A = (v_2^2/2) - (v_1^2/2)$ . Итак, если на тело действует сила  $F$ , работа которой отлична от нуля,  $A \neq 0$ , то это приводит к изменению величины  $mv^2/2$ , называемой **кинетической энергией**:  $E_{\text{кин}} = mv^2/2$ . Следовательно, изменение кинетической энергии равно работе силы, действующей на тело. Если на тело действуют несколько сил, то изменение кинетической энергии равно алгебраической сумме работ, совершаемых при данном перемещении каждой из сил. **Потенциальной энергией** обладает система тел, взаимодействующих между собой, если силы взаимодействия консервативны. **Консервативной (потенциальной) силой** называется сила, работа которой не зависит от формы траектории, а определяется только положением начальной и конечной точек траектории. Потенциальная энергия тела, поднятого на высоту  $h$  ( $h < R_3$ ), равна  $E_p = mgh$ . Потенциальная энергия, обусловленная силой тяготения, есть  $E_p = -GmM_3/r$ . Потенциальная энергия сжатой или растянутой пружины равна  $E_p = kx^2/2$ .

Согласно третьему закону Ньютона  $E_{\text{мех}} = A_{\text{внеш}} + A_{\text{тр}}$ , т.е. изменение механической энергии равно работе внешних сил и сил трения.

**Закон сохранения механической энергии**. Механическая энергия системы сохраняется, если работа внешних сил, действующих на тела, входящих в систему, равна нулю и отсутствуют силы трения, т.е. нет перехода механической энергии в другие виды энергии, например, в тепло:  $E_{\text{мех}} = E_{\text{п}} + E_{\text{к}} = \text{const}$ .

**Мощность**, развиваемая постоянной силой тяги, равна отношению работы этой силы на некотором перемещении к промежутку времени, за которое это перемещение произошло. Мощность определяется по формуле  $P = A/t$ .

**Статика** изучает условия равновесия тела или системы тел. Состояние механической системы называется **равновесным**, если все точки системы покоятся по отношению к выбранной системе отсчета, то такое равновесие называется абсолютным, если система покоится относительно неинерциальной системе отсчета, то равновесие считается относительным. Для равновесия материальной точки необходимо и достаточно, чтобы сумма действующих на нее сил равнялась нулю. Для равновесия твердого тела это условие является необходимым. Например, пусть на тело действуют две равные, но противоположно направленные силы, приложенные в разных его точках. Под действием этих сил тело примет вращательное движение. Все тела состоят из молекул.

**Молекулярная физика**, изучая поведение молекул, объясняет состояние системы и процессы, протекающие в системе. Молекулы находятся в непрерывном движении. Хаотическое движение молекул обычно называется тепловым движением. Интенсивность **теплового движения** возрастает с увеличением температуры. Молекулы взаимодействуют друг с другом. Между ними действуют силы притяжения и силы отталкивания, которые быстро убывают при увеличении расстояния между молекулами. Силы отталкивания действуют только на очень малых расстояниях. Практически поведение вещества и его агрегатное состояние определяются тем, что является доминирующим: силы притяжения и хаотическое тепловое движение. В твердых телах, где концентрация молекул  $n$  ( $n$  – число молекул в единице объема) относительно велика, доминирующие силы взаимодействия и твердое тело сохраняет свои размеры и форму. Жидкости, где концентрация меньше, а, следовательно, меньше силы взаимодействия, сохраняют свой объем, но принимают форму сосуда, в котором они находятся. В газах, где концентрация молекул еще меньше, силы взаимодействия малы, поэтому газ занимает весь предоставленный ему объем.

Силы, действующие между молекулами газа, малы и поэтому часто ими можно пренебречь. Кроме того, можно пренебречь объемом, который занимают молекулы. Газ, для которого это справедливо называется **идеальным газом**. Любой газ при давлениях меньше 10 атм, можно рассматривать как идеальный. Газ характеризуется тремя параметрами: объемом  $V$ , давлением  $P$ , и температурой  $T$ .

**Равновесное состояние** – это состояние, при котором температура и давление во всех точках одинаковы. На графиках зависимости  $P$ - $V$ ,  $T$ - $V$  и  $P$ - $T$  можно изобразить только такие процессы, при которых каждое промежуточное состояние является равновесным. Такие процессы называются обратимыми. Экспериментально исследовались процессы, при которых один из трех параметров и масса газа оставались неизменными. Эти законы называются **газовыми законами**, и если газ подчиняется газовым законам, его можно считать **идеальным**.

**Закон Бойля – Мариотта**. Для данной массы газа при постоянной температуре произведение давления на объем остается величиной постоянной:  $PV = \text{const}$ . Процессы, происходящие при постоянной температуре, называются **изотермическими**, а кривые, изображающие процессы при  $T = \text{const}$ , называются **изотермами**. Поскольку  $P = C/V$  ( $C = \text{const}$ ), изотермы являются гиперболами.

**Закон Гей-Люссака**. Для данной массы газа при постоянном давлении объем изменяется при увеличении температуры по линейному закону:  $V = V_0(1 + \alpha t)$ , где  $\alpha = 1/273$   $^{\circ}\text{C}^{-1}$  подставив это значение, получим  $V = (V_0/273^{\circ}\text{C} + t^{\circ}\text{C})/273^{\circ}\text{C}$ . Введем абсолютную температуру  $T = 273^{\circ}\text{C} + t^{\circ}\text{C}$ , откуда  $V/T = V_0/273^{\circ}\text{C} = \text{const}$ . Закон Гей-Люссака можно сформулировать следующим образом: отношение объема к абсолютной температуре для данной массы газа при постоянном давлении, называются **изобарными**, а кривые, изображающие изобарный процесс, **изобарами**.

**Закон Шарля**. Для постоянной массы газа при постоянном объеме отношение давления газа к его температуре остается постоянным:  $P/T = \text{const}$  при  $m = \text{const}$ ,  $V = \text{const}$ . Процессы, происходящие при постоянном объеме, называются **изохорными**, и кривые их изображающие **изохорами**. Уравнение, устанавливающие связь всех трех параметров при постоянной массе газа, называется **объединенным газовым законом**. Пусть система, находящаяся в состоянии 1, характеризуется параметрами  $P_1, V_1, T_1$ , перешла в состояние 2, характеризующееся параметрами  $P_2, V_2, T_2$ . Переведем систему из состояния 1 в 2 следующим образом: сначала газ изотермически расширяется до объема  $V_2$ , а затем изохорно нагревается до температуры  $T_2$ . Итак, промежуточное состояние газа 1' характеризуется параметрами  $P', V_2, T_1$ . При изотермическом расширении справедливо выражение  $P_1 V_1 = P' V_2$  (закон Бойля – Мариотта). При изохорном нагревании  $P'/T_1 = P_2/T_2$  (закон Шарля). Выразив  $P'$  и приравняв выражение для  $P'$  получим  $(P_1 V_1)/T_1 = (P_2 V_2)/T_2$ , т.е. при  $m = \text{const}$   $PV/T = \text{const}$ . Уравнение **Клапейрона – Менделеева**, или уравнение состояния идеального газа, связывает термодинамические параметры и массу газа. **Моль** равен количеству вещества, содержащему столько же молекул, сколько их содержит 0,012 кг углерода ( $\text{C}^{12}$ ). В одном моле любого вещества числа молекул равно числу **Авогадро**  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ . Масса моля  $M$  равна произведению массы одной молекулы  $m$  на число Авогадро  $N_A$ :  $M = m N_A$ . Известно, что 1 моль любого газа при нормальных условиях ( $P_0 = 1 \text{ атм} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$  и  $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$  или  $T_0 = 273 \text{ К}$ ) занимает объем  $V = 22,4 \text{ л}$ . Для одного моля можно записать уравнение:  $(PV)/T = (P_0 V_0)/T_0 = \text{const}$ . Величина  $R = (P_0 V_0)/T_0$  называется **универсальной** (одинаковой для всех газов) **газовой постоянной**:  $R = (1 \text{ атм} \cdot 22,4 \text{ л}) / (1 \text{ моль} \cdot 273 \text{ К}) = 0,082 \text{ атм} \cdot \text{л} / (\text{моль} \cdot \text{К}) = 8,31 \text{ Дж} / (\text{моль} \cdot \text{К})$ . Итак,  $RV/T = R$ , или  $PV = RT$ . Если в объеме  $V$  содержится  $m/M$  молей, то  $PV = (m/M)RT$  – уравнение Клапейрона – Менделеева. Все выше перечисленные газовые законы являются частным случаем уравнения Клапейрона – Менделеева. Газовая постоянная  $R$  связана с числом Авогадро и **постоянной Больцмана**  $k$ :  $R = k N_A$ , где  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$ . Подставив это выражение, получим  $PV = NkT$ , где  $N$  – число молекул газа. Величина  $n_0 = N/V$  называется концентрацией молекул. Таким образом,  $P = n_0 kT$ . Эти уравнения называются уравнениями состояния идеального газа.

**Колебания**. Движения или процессы, обладающие свойством повторяемости во времени, называются колебаниями. Колебания, при которых смещение изменяется по законам синуса или косинуса, называются гармоническими. Любой произвольный колебательный процесс можно представить как сумму гармонических колебаний.

**Механические колебания**. Пусть к пружине с коэффициентом упругости  $k$  прикреплен груз массой  $m$ , находящийся на идеально гладкой поверхности. При растяжении пружины на тело начинает действовать сила упругости  $F_{\text{упр}} = -kx$ . Если тело отпустить, то под действием силы упругости оно начинает двигаться в сторону,

противоположную смещению. Проходя положение равновесия, тело будет обладать максимальной скоростью и по инерции продолжит движение сжимая пружину. Под действием силы упругости, возникающей при деформации сжатия, тело остановится и начнет двигаться к положению равновесия и т.д. При этом  $x$  - смещение тела от положения равновесия  $O$  - изменяется по закону  $x = A \sin((t + \varphi_0))$ , где  $A$ ,  $\varphi_0$  не зависят от времени. Это уравнение называется уравнением колебаний. **Амплитуда**  $A$  – максимальное смещение от положения равновесия. **Циклическая частота**  $\omega$  - число полных колебаний, совершаемых системой за промежуток времени  $2\pi$  с. **Частота**  $\nu$  - число полных колебаний, совершаемых системой за 1 с. **Период колебаний**  $T$  – промежуток времени, за который совершается одно полное колебание.

**Фаза колебаний**  $((t + \varphi_0))$  определяет положение колеблющегося тела в момент времени  $t=0$ . Фаза обычно измеряется в радианах.  $T = 1/\nu$ . **Динамика гармонических колебаний**. Согласно 2-му закону Ньютона,  $ma = F_{\text{резх}}$ , где  $F_{\text{резх}}$  – проекция на ось  $x$  результирующей всех сил действующих на тело. Поскольку  $a^x = -\omega^2 x$ ,  $F_{\text{резх}} = -m\omega^2 x$ , где  $F_{\text{резх}}$  – проекция на ось  $x$ , вдоль которой совершаются колебания. Из этого следует, что равнодействующая всех сил, действующих на тело, совершающее гармоническое колебание, прямо пропорциональна смещению и направлена в сторону, противоположную смещению. Силы, прямо пропорциональные смещению и направленные в сторону противоположную смещению, т.е. удовлетворяющие условию  $F = -kx$ , но имеющие иную природу, чем упругие силы, называются квазиупругими. Гармонические колебания совершаются по действием упругих или квазиупругих сил. **Сложение колебаний**, направленных вдоль одной прямой. Пусть материальная точка одновременно участвует в двух колебаниях, происходящих вдоль одной прямой, например вдоль оси  $x$ . Частоты колебаний одинаковы, а разность фаз есть  $\Delta\varphi$ . Тогда уравнение колебаний имеют вид  $x_1 = A_1 \sin(t)$ ,  $x_2 = A_2 \sin(t - \Delta\varphi)$ . При сложении этих двух колебаний получим  $x = x_1 + x_2 = A_1 \sin(t) + A_2 \sin(t - \Delta\varphi)$ . Очевидно, что амплитуда результирующего колебания будет зависеть от разности фаз. Так, если  $\Delta\varphi = 2\pi n$ , где  $n=0,1,2,3,\dots,n$ , то  $x = (A_1 + A_2) \sin(t)$ , т.е. амплитуда результирующего колебания будет равна сумме амплитуд складываемых колебаний. Если  $\Delta\varphi = (2n+1)\pi$ , то  $x = (A_1 - A_2) \sin(t)$ , т.е. амплитуда результирующего колебания будет равна разности амплитуд и колебания происходят с минимальной амплитудой. Если амплитуды складываемых колебаний равны, то в этом случае колебаний вообще происходить не будет. **Затухающие колебания**. Во всех реальных случаях колебаний помимо силы упругости на тело действует сила сопротивления, которая обычно считается пропорциональной скорости и направленной в сторону противоположную скорости.  $F_2 = -rv$ , где  $r$  – постоянный коэффициент. Тогда из 2-го закона Ньютона имеем  $ma = -kx - rv$ , причем  $\omega_0^2 = k/m$ ,  $\omega_0$  – частота собственных колебаний системы в отсутствии затухания,  $\gamma/m = 2\gamma$ , где  $\gamma$  – коэффициент затухания. Очевидно, чем больше  $r$  и чем меньше  $m$ , тем быстрее будут затухать колебания. **Вынужденные колебания**. Для поддержания колебаний в системе необходимо, чтобы действовала сила, работа которой компенсировала бы уменьшение механической энергии. Эта сила должна быть переменной, так как постоянная сила может только изменить положение равновесия, но не может способствовать поддержанию колебаний в системе. Таким образом, на систему, совершающую колебания должна действовать **вынуждающая сила**  $F_3 = F_0 \sin(t)$ , где  $F_0$  – амплитуда вынуждающей силы,  $\omega$  – ее частота. Помимо вынуждающей силы на тело действует сила упругости  $F_1 = -kx$  и сила сопротивления  $F_2 = -rv$ . Из 2-го закона Ньютона имеем  $ma = -kx - rv + F_0 \sin(t)$ . Собственные колебания в системе затухнут, следовательно, вынужденные колебания происходят с частотой вынуждающей силы. Колебания, происходящие под действием вынужденной силы, называются **вынужденными колебаниями**. Амплитуда и фаза зависят от соотношения между частотой собственных колебаний и частотой вынуждающей силы. При совпадении этих частот амплитуда колебаний будет резко возрастать. Это явление получило название **резонанса**. Резонансная амплитуда зависит от сопротивления среды.