

Теоретический минимум курса физики для ФТМИ

Раздел «Механика»

Глоссарий

Кинематика

- (1) **Кинематика** • Раздел механики, который изучает движение тел без рассмотрения причин, вызывающих это движение. Кинематика описывает движение тела в пространстве и времени с помощью таких понятий, как траектория, скорость, ускорение, угловая скорость и угловое ускорение. Также кинематика изучает относительное движение тел и преобразования координат при переходе от одной системы отсчета к другой.
- (2) **Пространственно-временная система отсчета** • Совокупность тела отсчета и жестко связанных с ним системы координат и устройства для измерения промежутков времени (часов).
- (3) **Механическое движение** • Изменение положения тела в пространстве относительно других тел или системы отсчета с течением времени.
- (4) **Материальная точка** • Макроскопическое тело, собственные размеры которого малы по сравнению с характерными для изучаемого движения.
- (5) **Радиус-вектор** • Вектор, который соединяет начало координат системы отсчета с точкой, движение которой необходимо описать.
- (6) **Перемещение** • Вектор, соединяющий начальное (в момент времени t_1) и конечное (в момент времени t_2) положение тела: $\Delta\vec{r} = \vec{r}(t_2) - \vec{r}(t_1)$.
- (7) **Траектория** • Геометрическое место последовательных положений движущейся точки в рассматриваемой системе отсчета. Если Γ — прямая линия, движение точки называется прямолинейным, в противном случае — криволинейным.
- (8) **Путь** • Предел суммы абсолютных значений элементарных перемещений точки за данный конечный промежуток времени.
- (9) **Мгновенная скорость** • Векторная величина, равная производной по времени радиус-вектора частицы: $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$.
- (10) **Ускорение** • Векторная величина, равная производной по времени мгновенной скорости частицы: $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$.
- (11) **Касательное (тангенциальное) ускорение** • Составляющая ускорения точки по касательной к траектории при разложении ускорения по естественным осям, соответствующая изменению скорости вдоль ее направления.
- (12) **Нормальное (центростремительное) ускорение** • Составляющая ускорения точки по главной нормали к траектории при разложении ускорения по естественным осям, соответствующая изменению скорости перпендикулярно к ее направлению.

- (13) **Поступательное движение** • Движение тела, при котором любая прямая, жестко связанная с твердым телом, остается параллельной своему начальному положению.
- (14) **Вращательное движение** • Движение твёрдого тела при котором все точки тела в данный момент движутся по дугам окружностей, центры которых лежат на одной прямой, называемой осью вращения.
- (15) **Угловая скорость** • Векторная величина, характеризующая быстроту и направление вращения материальной точки или абсолютно твёрдого тела относительно оси вращения. Модуль угловой скорости для вращательного движения совпадает с мгновенной угловой частотой вращения, а направление перпендикулярно плоскости вращения и связано с направлением вращения правилом правого винта.
- (16) **Мгновенная ось вращения** • Прямая, относительно которой в данный момент времени любое сложное движение твердого тела можно представить, как вращение относительно этой прямой. В условиях свободного движения тела М.о.в. не сохраняет свою ориентацию в пространстве, поэтому и получила название мгновенной, изменяющейся во времени.
- (17) **Число степеней свободы** • Количество независимых величин, которые необходимо определить для однозначного задания положения тела в пространстве.

Динамика

- (19) **Динамика** • Раздел механики, посвящённый изучению движения материальных тел под действием приложенных к ним сил. В основе Д. лежат законы механики Ньютона, из которых получаются все уравнения и теоремы, необходимые для решения прикладных задач.
- (20) **Инерциальная система отсчета** • Система отсчёта, в которой справедлив закон инерции (I закон Ньютона): материальная точка, когда на нее не действуют никакие силы (или их действие полностью уравновешено), находится в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения. Всякая система отсчёта, движущаяся по отношению к И.с.о. поступательно, равномерно и прямолинейно, есть также И.с.о.
- (21) **Принцип относительности Галилея** • Принцип абсолютного физического равноправия всех инерциальных систем отсчёта (и.с.о.) в классической механике, проявляющегося в том, что законы механики во всех таких системах одинаковы. Отсюда следует, что никакими механическими опытами, проводящимися в какой-либо и.с.о., нельзя определить, покоится данная система или движется равномерно и прямолинейно.
- (22) **Инертность** • Свойство материальных тел оказывать сопротивление при попытке привести их движение, в общем случае, изменить направление или абсолютную величину их скорости.
- (23) **Масса** • Скалярная физическая величина, одна из основных характеристик материи, определяющая её инерционные и гравитационные свойства.

(24) **Сила** • Векторная величина, являющаяся мерой механического воздействия для данного мгновения на материальный объект (тело) со стороны других тел или полей и характеризующая величину и направление этого воздействия.

(25) **Импульс силы** • Векторная физическая величина, являющаяся мерой действия силы \vec{F} за промежуток времени Δt . И.с. определяется произведением силы на время её действия: $\vec{F}\Delta t$.

(26) **Первый закон Ньютона** • Существуют такие системы отсчёта, называемые инерциальными, относительно которых свободное тело, т.е. тело, на которое не действуют внешние силы или действие которых на него скомпенсировано, сохраняет свою скорость постоянной.

(27) **Второй закон Ньютона** • Векторная сумма всех сил, действующих на тело, равна произведению массы этого тела на его ускорение в инерциальной системе отсчета: $m\vec{a} = \sum_i \vec{F}_i$.

(28) **Третий закон Ньютона** • Тела действуют друг на друга с силами, равными по модулю и противоположными по направлению, лежащими вдоль одной прямой, причём эти силы имеют одинаковую природу: $\vec{F}_{ij} = -\vec{F}_{ji}$.

(29) **Центр масс** • Центр инерции, геометрическая точка, положение которой характеризует распределение масс в теле или механической системе.

i

(30) **Центр тяжести** • Геометрическая точка внутри тела, относительно которой сумма моментов сил тяжести всех частиц тела равна нулю. Эту точку можно считать точкой приложения силы тяжести, действующей на тело. В однородном поле тяжести Ц.т. совпадает с центром масс тела.

(31) **Вес** • Сила, с которой тело, находящееся в поле сил тяжести, действует на подвес или опору, препятствующую его свободному падению.

(32) **Закон Амонтона-Кулона** • Эмпирический закон, устанавливающий линейную связь между поверхностной силой трения, возникающей при относительном скольжении тел, и силой нормальной реакции, действующей на тело со стороны поверхности. Сила трения скольжения одного тела по поверхности другого тела (опоры) равна $F = \mu N$ и направлена тангенциально к общей границе между двумя телами в сторону, противоположную перемещению. Здесь μ — коэффициент трения для данных поверхностей (зависит от материала трущихся поверхностей, качества обработки их поверхностного слоя), N — сила нормальной реакции опоры.

(33) **Закон всемирного тяготения** • Вектор силы \vec{F} взаимного притяжения материальных точек с массами m_1 и m_2 , находящихся на расстоянии r друг от друга, равен: $\vec{F} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{r}$, где G — всемирная гравитационная постоянная.

Законы сохранения импульса, энергии и момента импульса

(35) **Импульс** • Мера механического движения; представляет собой векторную величину, равную для материальной точки произведению массы этой точки m на её скорость \vec{v} и направленную так же, как вектор скорости: $\vec{p} = m\vec{v}$.

(36) **Закон изменения импульса** • Скорость изменения импульса системы материальных точек равна векторной сумме всех внешних сил, действующих на эту систему: $\frac{d\vec{p}_{\text{сист}}}{dt} = \sum_i \vec{F}_i^{\text{ext}}$. З.и.и фактически является более общей формулировкой второго закона Ньютона.

(37) **Абсолютно упругое столкновение** • Процесс взаимодействия объектов при котором механическая энергия системы сохраняется.

(38) **Абсолютно неупругое столкновение** • Процесс взаимодействия объектов после которого они движутся с равной по направлению и модулю скоростью (составляют единое целое).

(40) **Работа** • Скалярная количественная мера действия силы (равнодействующей сил) на тело или сил на систему тел. Зависит от численной величины и направления силы (сил) и от перемещения тела (системы тел). Элементарная работа равна скалярному произведению силы, действующей на тело, на вектор бесконечно малого перемещения: $\delta A = (\vec{F}, d\vec{r})$.

(41) **Кинетическая энергия** • Для материальной точки – К.э. – скалярная физическая величина, равная половине произведения массы материальной точки на квадрат скорости её движения ($T = \frac{Mv^2}{2}$). Кинетическая энергия системы материальных точек есть сумма кинетических энергий всех материальных точек, составляющих систему. Физический смысл понятия К.э. – она равна работе внешних сил, которую надо совершить, чтобы разогнать в данной системе отсчёта покоящееся тело до заданной скорости.

(43) **Консервативная (потенциальная) сила** • Сила, работа которой зависит только от начального и конечного положения точки её приложения и не зависит ни от вида

траектории, ни от закона движения этой точки.

(44) **Потенциальная энергия** • Часть полной механической энергии системы, зависящая от взаимного расположения объектов, составляющих эту систему, и от их положений во внешних силовых полях (например, гравитационном). Численно П.э. системы в данном её положении равна работе, которую произведут действующие на систему силы при перемещении системы из этого положения в то, где П.э. условно принимается равной нулю.

(45) **Закон изменения полной механической энергии** • Изменение полной механической энергии системы тел равно сумме работ внутренних неконсервативных сил системы и внешних сил, действующих на систему: $\Delta E = A_{\text{вн. неконс.}} + A_{\text{внеш.}}$.

(46) **Момент импульса** • Физическая величина, характеризующая количество вращательного движения и зависящая от того, сколько массы вращается, как она распределена в пространстве и с какой угловой скоростью происходит вращение. Для одной материальной точки момент импульса равен векторному произведению радиус-вектора точки на её импульс $\vec{L} = [\vec{r}, \vec{p}]$, для системы точек — сумме таких произведений.

(47) **Момент силы** • Мера механического воздействия, учитывающая положение силы по отношению к данной точке, выражающаяся векторным произведением радиуса-вектора точки приложения силы относительно данной точки на вектор этой силы: $\vec{M} = [\vec{r}, \vec{F}]$.

(48) **Закон изменения момента импульса** • Скорость изменения момента импульса системы материальных точек равна геометрической сумме моментов всех внешних сил, действующих на тела системы: $\frac{d\vec{L}}{dt} = \sum_i \vec{M}_i^{\text{ext}}$.

Движение АТТ. Неинерциальные системы отсчета.

(49) **Абсолютно твердое тело** • Модельное понятие классической механики, обозначающее совокупность точек, расстояния между текущими положениями которых не изменяются, каким бы воздействием данное тело в процессе взаимодействия с другими твёрдыми объектами ни подвергалось, то есть абсолютно твёрдое тело не изменяет свою форму и сохраняет неизменным распределение масс.

(51) **Момент инерции** • Величина, характеризующая распределение масс в теле и являющаяся наряду с массой мерой инертности тела при вращательном движении. Осевым М.и. тела относительно оси Oz называется величина, определяемая равенством: $I_z = \sum_i m_i h_i^2$ или $I_z = \int \rho h^2 dV$, где m_i — массы точек тела, h_i — расстояния от них до оси Oz , а ρ — массовая плотность, V — объём тела.

(52) **Теорема Гюйгенса-Штайнера** • Момент инерции тела относительно произвольной оси равен сумме момента инерции этого тела относительно оси, проходящей через его центр масс параллельно данной оси, и произведения массы этого тела на квадрат расстояния между осями: $I = I_c + M\ell^2$.

■ **Гироскоп** • Быстро вращающееся симметричное твердое тело, ось вращения которого (ось симметрии) может изменять своё направление в пространстве.

(57) **Гироскопический эффект** • Сохранение направления оси вращения свободно и быстро вращающихся твердых тел. Гироскопический эффект вызван действием кориолисовых сил инерции.

(58) **Прецессия гироскопа** • Явление, при котором ось вращающегося объекта (например, гироскопа) при приложении к нему внешнего вращающего момента описывает конус в пространстве.

Примеры тестовых вопросов

1. Кинематика материальной точки

- 1.1 Что изучает раздел механики - кинематика?
- 1.2 В чем заключается абстракция, которая позволяет заменить реальное тело понятием «материальная точка»? Приведите примеры.
- 1.3 Перечислите способы описания движения материальных тел. Дайте их краткую характеристику.
- 1.4 Какие элементы входят в состав системы отсчета?
- 1.5 С помощью каких кинематических характеристик описывается движение материальной точки?
- 1.6 Что называют траекторией? Как подразделяют движения по типу траекторий?
- 1.7 Что называют перемещением точки? При каком движении модуль вектора перемещения будет равен пройденному точкой пути?
- 1.8 Что называют мгновенной скоростью точки? Как направлен вектор мгновенной скорости? Что называют средней скоростью движения? Какой ее физический смысл? Как направлен вектор средней скорости?
- 1.9 Что называют средним ускорением точки? Что характеризует эта величина? Как направлен вектор среднего ускорения? Какой физический смысл имеет мгновенное ускорение точки?
- 1.10 Как по графику зависимости проекции скорости от времени $v_x = v_x(t)$ построить графики зависимостей координаты $x = x(t)$ и проекции ускорения $a_x = a_x(t)$?
- 1.11 Почему при криволинейном движении направление вектора ускорения не совпадает с направлением скорости?
- 1.12 Дайте определение радиуса кривизны плоской криволинейной траектории.
- 1.13 Автомобиль движется по закруглению дороги. Одинаковое ли расстояние проходят его правые и левые колеса?
- 1.14 Каков физический смысл вектора бесконечно малого угла поворота $d\vec{\varphi}$?
- 1.15 Что называют угловым ускорением? Дайте определение и запишите единицу измерения углового ускорения. Как определяется направление вектора углового ускорения и чему равен его модуль?
- 1.16 Запишите формулу связи между векторами линейных и угловых скоростей.
- 1.17 Что характеризует тангенциальное ускорение? Как направлен вектор тангенциального ускорения? Чему равен его модуль?
- 1.18 Что характеризует нормальное ускорение? Как направлен вектор нормального ускорения? Чему равен модуль этого ускорения? Зависит ли направление вектора нормального ускорения от направления движения точки по траектории?

1.19 Запишите связь между модулями нормального, тангенциального и полного ускорений. Как направление вектора полного ускорения связано с направлением вектора скорости точки?

1.20 Может ли полное ускорение точки при криволинейном движении быть направлено по касательной? По нормали?

1.21 Перечислите кинематические характеристики материальной точки, которая движется по окружности. Чем обусловлена необходимость введения угловых величин вместо линейных?

1.22 Что называют угловой скоростью движения точки по окружности? Дайте определение единицы угловой скорости.

1.23 Запишите формулу угловой скорости в векторной форме. Как направлен вектор угловой скорости и чему равен ее модуль?

1.24 Запишите выражения для нормального и тангенциального ускорений в векторной форме.

1.25 Запишите формулу связи между векторами тангенциального \vec{a}_τ и углового $\vec{\beta}$ ускорения. Изобразите эти векторы на рисунке.

1.26 Запишите формулу связи между векторами нормального ускорения \vec{a}_n , угловой $\vec{\omega}$ и линейной \vec{v} скоростей. Изобразите связь между ними графически.

1.27 Дайте определение понятию «число степеней свободы механической системы». Каково это число для свободного твердого тела? для тела закрепленного на неподвижной оси вращения?

1.28 Перечислите возможные виды движения тела. К каким движениям можно свести любое сложное движение твердого тела?

1.29 Какое движение называют поступательным? Какие физические величины характеризуют кинематику поступательного движения твердого тела? Приведите примеры прямолинейного и криволинейного поступательного движения.

1.30 Какое движение называют вращательным? Какие различают оси вращения? Что такое мгновенная ось вращения? Приведите примеры мгновенных осей вращения. Какое движение называют свободным?

2. Динамика материальной точки

2.1 Сформулируйте первый закон Ньютона.

2.2 Что называют инерцией тела? Приведите примеры движения по инерции.

2.3 Как объяснить, что бегущий человек, споткнувшись, падает в направлении своего движения, а поскользнувшись - в направлении, противоположном направлению своего движения?

2.4 Какие системы отсчета называют инерциальными и неинерциальными? Приведите примеры таких систем.

- 2.5 В каких системах отсчета выполняются законы Ньютона?
- 2.6 Дайте определение гелиоцентрической и геоцентрической систем отсчета. Какую из них можно считать в большей степени инерциальной?
- 2.7 Что является причиной изменения состояния покоя или равномерного прямолинейного движения тела в инерциальной системе отсчета?
- 2.8 Сформулируйте определение механической силы.
- 2.9 Какие взаимодействия называются фундаментальными? Назовите критерии, которые лежат в основе характеристики этих взаимодействий.
- 2.10 Приведите примеры физических явлений, в которых проявляются известные типы фундаментальных взаимодействий.
- 2.11 Назовите фундаментальные взаимодействия в порядке возрастания их интенсивности. Сравните эти интенсивности.
- 2.12 Назовите фундаментальные взаимодействия, которые изучаются в классической механике. Какие изучаемые в механике взаимодействия не являются фундаментальными?
- 2.13 Сформулируйте условие равенства двух сил. Какая сила называется результирующей? Как находится результирующая нескольких сил, направленных под углом друг к другу?
- 2.14 При каком условии тело в системе, где действуют силы, будет находиться в состоянии покоя, или двигаться равномерно прямолинейно?
- 2.15 Что называют инертностью тела? Приведите примеры, которые подтверждают проявление инертности. Какая физическая величина служит мерой инертности тела?
- 2.16 Сформулируйте определение массы. Опишите известные вам способы измерения массы.
- 2.17 Сформулируйте второй закон Ньютона и дайте определения всех входящих в него физических величин.
- 2.18 Из второго закона Ньютона следует, что ускорение тела $\vec{a} = 0$, если результирующая внешних сил $\vec{F} = 0$. Можно ли утверждать, что первый закон Ньютона является частным случаем второго закона?
- 2.19 Сформулируйте второй закон Ньютона в самой общей форме. В чем отличие этой формулировки от выраженной уравнением $\vec{F} = m\vec{a}$?
- 2.20 Что называют импульсом тела? В каких единицах измеряется импульс тела?
- 2.21 Что называют импульсом силы? Как рассчитать импульс силы за конечный интервал времени в случаях, если: а) сила не изменяется, б) сила изменяется с течением времени?
- 2.22 Сформулируйте третий закон Ньютона. Приведите примеры его проявления.
- 2.23 Являются ли уравновешивающими силы действия и противодействия? Имеют ли эти силы результирующую?
- 2.24 Человек тащит тележку. Перечислите силы, действующие на человека и тележку при движении по горизонтальной и наклонной дороге.

2.27 Запишите аналитический вид закона Амонтона - Кулона. От чего зависит коэффициент трения покоя? Может ли быть он больше 1?

2.28 Как при помощи наклонной плоскости можно определить коэффициент трения покоя? Что называют углом трения покоя? Нарисуйте качественный график зависимости силы трения, которая действует на тело, от угла наклона плоскости в границах от 0° до 90° .

2.30 Запишите уравнения движения тела при его равноускоренном скольжении по шероховатой наклонной плоскости.

2.34 Материальная точка массой m движется по окружности радиуса R с угловым ускорением $\vec{\beta}$. Можно ли по этим данным определить действующую на точку силу? Дайте ответ и приведите необходимые пояснения.

- 2.41 Приведите примеры, когда реальные объекты можно рассматривать как системы материальных точек. Какова природа сил взаимодействия между точками?
- 2.42 Что понимают под аддитивностью массы? Какими опытами подтверждается аддитивность массы?
- 2.44 Что называют импульсом системы материальных точек?
- 2.45 Опираясь на третий закон Ньютона, покажите, что в замкнутой системе сумма внутренних сил равна нулю.
- 2.46 Сформулируйте закон сохранения импульса системы материальных точек. Приведите примеры, применения закона сохранения импульса системы.
- 2.47 Каким образом необходимо выбрать начало координат системы отсчета для того, чтобы импульс механической системы был равен нулю?
- 2.51 Какое движение называют реактивным? Под действием какой силы оно происходит? Как возникает реактивная сила в случае отделения или присоединения частиц?

3. Механическая работа и энергия

- 3.1 Запишите формулу для расчета работы постоянной силы.
- 3.2 Что можно сказать относительно работы центростремительной силы? Чему равна работа силы, которая действует на тело, движущееся по окружности с ускорением?
- 3.4 Как рассчитывается работа переменной силы? Как изобразить элементарную и полную работу на графике зависимости тангенциальной составляющей силы от пути?
- 3.5 Что называют мощностью? Каким образом можно найти работу, если известна мощность механизма? В каких случаях мощность можно выразить формулой $N = \vec{F} \cdot \vec{v}$?
- 3.6 Чему равна кинетическая энергия свободно падающего тела в момент падения на Землю, если в средней точке пути его потенциальная энергия равна U ?
- 3.7 Какие силы называются консервативными? Перечислите, какие из известных вам сил являются консервативными. Какие системы называются консервативными? Какие силы называются диссипативными?

3.8 Что называют кинетической энергией тела? Получите формулу для подсчета кинетической энергии материальной точки, движущейся поступательно. Запишите формулу, которая устанавливает связь между кинетической энергией и импульсом тела.



3.10 Что называют потенциальной энергией механической системы? От чего она зависит? Объясните, почему потенциальная энергия может быть установлена только с точностью до некоторой постоянной. Как выбирается эта постоянная?



3.13 Для произвольной консервативной силы получите формулу, которая устанавливает связь консервативной силы с потенциальной энергией.



3.15 Сформулируйте и запишите аналитическую форму закона сохранения механической энергии для замкнутой системы, в которой действуют консервативные и диссипативные силы.

3.16 По какому признаку делятся удары на абсолютно упругие и абсолютно неупругие?

Выведите формулу для работы неупругих сил при центральном неупругом ударе шаров и проанализируйте ее. Как следует поступить, чтобы вся кинетическая энергия тел, которые участвуют в столкновении, пошла на их деформацию?

3.18 Опишите, что происходит с телами при абсолютно упругом ударе, на какие два этапа делится процесс столкновения? Как изменяется потенциальная и кинетическая энергия тел в процессе столкновения?



4. Динамика твердого тела

4.1 Что называют моментом силы относительно точки? Относительно оси вращения? Покажите, что момент силы не изменяется при перемещении силы вдоль линии действия.

4.2 Какая из составляющих силы, действующей под углом к оси вращения, вызывает вращение тела? Чему равен момент силы, параллельной оси вращения?

4.3 Что называют парой сил?

- 4.4 Сформулируйте закон всемирного тяготения. В каких случаях аналитическое выражение этого закона для двух материальных точек справедливо и для тел, которые имеют конечные размеры?
- 4.5 [REDACTED]
- 4.7 Как определить массу Земли, если известна гравитационная постоянная?
- 4.14 Что называется моментом инерции материальной точки относительно оси? От чего зависит момент инерции тела? Какую роль он играет во вращательном движении?
- 4.15
- 4.16 Сформулируйте теорему Гюйгенса-Штейнера. Что произойдет с моментом инерции тела, если ось перемещать параллельно самой себе, отдаляясь от центра инерции?
- 4.17 Найдите момент инерции стержня массой m и длиной ℓ , относительно оси, которая проходит на расстоянии $2/3$ от его конца перпендикулярно стержню.
- 4.18 Найдите момент инерции диска массой m и радиусом R относительно оси, которая перпендикулярна плоскости диска и проходит через его край.
- 4.19 Сформулируйте основной закон динамики вращательного движения твердого тела.
- 4.20 Что называется моментом импульса относительно точки? Относительно оси?
- 4.21 Сформулируйте закон сохранения момента импульса тела. Приведите примеры проявления этого закона.
- 4.22 Получите формулу для кинетической энергии тела, которое вращается вокруг неподвижной оси.
- 4.24 Чему равна кинетическая энергия диска (шара) массой m и радиусом R , который катится без скольжения по горизонтальной плоскости, если его центр масс имеет скорость \vec{V} .
- 4.26 Сформулируйте условия равновесия твердого тела. Перечислите виды равновесия. Какие изменения могут происходить с кинетической энергией тел при разных видах равновесия?