

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ МЕГАФАКУЛЬТЕТ

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**Теоретический минимум курса физики
для технических направлений подготовки**

Механика

Содержание

1. Кинематика	3
Примеры тестовых вопросов по разделу	5
2. Динамика	7
Примеры тестовых вопросов по разделу	10
3. Механическая работа и энергия	13
Примеры тестовых вопросов по разделу	15
4. Движение АТТ. Неинерциальные системы отсчета.	17
Примеры тестовых вопросов по разделу	18
5. Колебания и волны	22
Примеры тестовых вопросов по разделу	26
6. Основы специальной теории относительности (СТО)	29
Примеры тестовых вопросов по разделу	31

1. Кинематика

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.

Пространственно-временная система отсчета • Совокупность тела отсчета и жестко связанных с ним системы координат и устройства для измерения промежутков времени (часов).

Механическое движение • Изменение положения тела в пространстве относительно других тел или системы отсчета с течением времени.

Материальная точка • Макроскопическое тело, собственные размеры которого малы по сравнению с характерными для изучаемого движения.

Радиус-вектор • Вектор, который соединяет начало координат системы отсчета с точкой, движение которой необходимо описать.

Перемещение • Вектор, соединяющий начальное (в момент времени t_1) и конечное (в момент времени t_2) положение тела: $\Delta \vec{r} = \vec{r}(t_2) - \vec{r}(t_1)$.

Траектория • Геометрическое место последовательных положений движущейся точки в рассматриваемой системе отсчета. Если Т. — прямая линия, движение точки называется прямолинейным, в противном случае — криволинейным.

Путь • Предел суммы абсолютных значений элементарных перемещений точки за данный конечный промежуток времени.

Мгновенная скорость • Векторная величина, равная производной по времени радиус-вектора частицы: $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$.

Ускорение • Векторная величина, равная производной по времени мгновенной скорости частицы: $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$.

Касательное (тангенциальное) ускорение • Составляющая ускорения точки по касательной к траектории при разложении ускорения по естественным осям, соответствующая изменению скорости вдоль ее направления.

Нормальное (центростремительное) ускорение • Составляющая ускорения точки по главной нормали к траектории при разложении ускорения по естественным осям, соответствующая изменению скорости перпендикулярно к ее направлению.

Поступательное движение • Движение тела, при котором любая прямая, жестко связанная с твердым телом, остается параллельной своему начальному положению.

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.

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.

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.

Число степеней свободы • Количество независимых величин, которые необходимо определить для однозначного задания положения тела в пространстве.

Преобразования Галилея • Преобразования координат и скоростей в ньютоновской классической механике при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой, движущейся относительно исходной со скоростью \vec{V} (время во всех инерциальных системах отсчета считается одинаковым): $\vec{r} = \vec{r}' + \vec{V}t$, $\vec{v} = \vec{v}' + \vec{V}$.

Примеры тестовых вопросов по разделу «Кинематика»

- (1) Что изучает раздел механики - кинематика?
- (2) В чем заключается абстракция, которая позволяет заменить реальное тело понятием «материальная точка»? Приведите примеры.
- (3) Перечислите способы описания движения материальных тел. Дайте их краткую характеристику.
- (4) Какие элементы входят в состав системы отсчета?
- (5) С помощью каких кинематических характеристик описывается движение материальной точки?
- (6) Что называют траекторией? Как подразделяют движения по типу траекторий?
- (7) Что называют перемещением точки? При каком движении модуль вектора перемещения будет равен пройденному точкой пути?
- (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?
- (9) Что называют средним ускорением точки? Что характеризует эта величина? Как направлен вектор среднего ускорения? Какой физический смысл имеет мгновенное ускорение точки?
- (10) Как по графику зависимости проекции скорости от времени $v_x = v_x(t)$ построить графики зависимостей координаты $x = x(t)$ и проекции ускорения $a_x = a_x(t)$?
- (11) Почему при криволинейном движении направление вектора ускорения не совпадает с направлением скорости?
- (12) Дайте определение радиуса кривизны плоской криволинейной траектории.
- (13) Автомобиль движется по закруглению дороги. Одинаковое ли расстояние проходят его правые и левые колеса?
- (14) Каков физический смысл вектора бесконечно малого угла поворота $d\vec{\varphi}$?
- (15) Что называют угловым ускорением? Дайте определение и запишите единицу измерения углового ускорения. Как определяется направление вектора углового ускорения и чему равен его модуль?
- (16) Запишите формулу связи между векторами линейных и угловых скоростей.
- (17) Что характеризует тангенциальное ускорение? Как направлен вектор тангенциального ускорения? Чему равен его модуль?

- (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?
- (19) Запишите связь между модулями нормального, тангенциального и полного ускорений. Как направление вектора полного ускорения связано с направлением вектора скорости точки?
- (20) Может ли полное ускорение точки при криволинейном движении быть направлено по касательной? По нормали?
- (21) Что называют угловой скоростью движения точки по окружности? Дайте определение единицы угловой скорости.
- (22) Запишите формулу угловой скорости в векторной форме. Как направлен вектор угловой скорости и чему равен ее модуль?
- (23) Запишите выражения для нормального и тангенциального ускорений в векторной форме.
- (24) Запишите формулу связи между векторами тангенциального \vec{a}_τ и углового $\vec{\beta}$ ускорения. Изобразите эти векторы на рисунке.
- (25) Запишите формулу связи между векторами нормального ускорения \vec{a}_n , угловой $\vec{\omega}$ и линейной \vec{v} скоростей. Изобразите связь между ними графически.
- (26) Дайте определение понятию «число степеней свободы механической системы». Каково это число для свободного твердого тела? для тела закрепленного на неподвижной оси вращения?
- (27) Какое движение называют поступательным? Какие физические величины характеризуют кинематику поступательного движения твердого тела? Приведите примеры прямолинейного и криволинейного поступательного движения.
- (28) Какое движение называют вращательным? Какие различают оси вращения? Что такое мгновенная ось вращения? Приведите примеры мгновенных осей вращения. Какое движение называют свободным?
- (29) Какое движение называют плоским? Постройте примерную траекторию движения точки, расположенной на колесе автомобиля, который движется прямолинейно.
- (30) Запишите преобразования Галилея. Какие ньютоновские представления о пространстве и времени лежат в основе этих преобразований?
- (31) Используя преобразования Галилея, получите закон сложения скоростей в классической физике. Обратите внимание на принятую терминологию для определения скоростей в этом законе.

2. Динамика

Динамика • Раздел механики, посвящённый изучению движения материальных тел под действием приложенных к ним сил. В основе динамики лежат законы механики Ньютона, из которых получаются все уравнения и теоремы, необходимые для решения прикладных задач.

Инерциальная система отсчёта • 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, также является И.с.о.

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.

Инертность • Свойство материальных тел оказывать сопротивление при попытке привести их движение, в общем случае, изменить направление или абсолютную величину их скорости.

Масса • Скалярная физическая величина, одна из основных характеристик материи, определяющая её инерционные и гравитационные свойства.

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.

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

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 **или покоится**.

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

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: $\vec{F}_{ij} = -\vec{F}_{ji}$.

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: $\vec{p} = m\vec{v}$. Для частицы, движется со

скоростью, близкой к скорости с света в вакууме, импульс будет равен $p = \gamma m \vec{v}$, где $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ — т.н. релятивистский Лоренц-фактор.

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.

Абсолютно упругое столкновение • Процесс взаимодействия объектов при котором механическая энергия системы сохраняется.

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

Центр масс • Центр инерции, геометрическая точка, положение которой характеризует распределение масс в теле или механической системе. Радиус-вектор Ц. м. определяется следующими соотношениями: $\vec{r}_c = \frac{1}{M} \sum_i m_i \vec{r}_i$ — для системы материальных точек или $\vec{r}_c = \frac{1}{M} \int_V \rho \vec{r} dV$ — для непрерывного распределения массы в пространстве. В данных соотношениях: m_i — массы материальных точек, образующих систему, \vec{r}_i — радиус-вектора этих точек, $M = \sum_i m_i$ — масса системы, $\rho = \rho(\vec{r})$ — массовая плотность, V — объём.

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.

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

Сила трения • Сила — возникающая при соприкосновении двух твердых тел при отсутствии между ними жидкой или газообразной прослойки. Такое трение называют сухим. Силы сухого трения всегда направлены по касательной к соприкасающимся поверхностям. Сухое трение, возникающее при относительном покое тел, называют трением покоя.

Вязкое трение • Сила — возникающая при движении твёрдых тел в жидкой или газообразной среде, или когда сама жидкость или газ текут мимо неподвижных твёрдых тел. Сила трения, испытываемая движущимся телом, например, в жидкости, зависит от скорости движения, от формы и размеров тела и от свойств жидкости. При малых скоростях движения сила сопротивления прямо пропорциональна скорости движения и линейному размеру тела. Тела испытывают тем большую силу противления, чем более густой (вязкой) будет среда.

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.

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.

Принцип эквивалентности • Никакими опытами, проводимыми внутри системы отсчета, невозможно отличить неинерциальную систему отсчета в свободном пространстве от инерциальной, находящейся в однородном поле тяготения.

Уравнение Мещерского • Основное уравнение в механике тел переменной массы, полученное И.В. Мещерским в 1897 году для материальной точки переменной массы. У.М. имеет следующую форму записи: $M(t) \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{u}_1 \frac{dm_1}{dt} - \vec{u}_2 \frac{dm_2}{dt} + \vec{F}$, где $M(t)$ — масса материальной точки, изменяющаяся за счет обмена частицами с окружающей средой, в произвольный момент времени t ; \vec{v} — скорость движения материальной точки переменной массы; \vec{F} — результирующая внешних сил, действующих на материальную точку переменной массы со стороны её внешнего окружения; $\vec{u}_{1,2}$ — относительные скорости присоединяемого (1) и отсоединяемого (2) вещества; $\frac{dm_{1,2}}{dt} > 0$ — быстрота изменения суммарной массы присоединенного (1) и отсоединенного вещества, соответственно.

Примеры тестовых вопросов по разделу «Динамика»

- (1) Сформулируйте первый закон Ньютона.
- (2) Что называют инерцией тела? Приведите примеры движения по инерции.
- (3) Как объяснить, что бегущий человек, споткнувшись, падает в направлении своего движения, а поскользнувшись — в направлении, противоположном направлению своего движения?
- (4) Какие системы отсчета называют инерциальными и неинерциальными? Приведите примеры таких систем.
- (5) В каких системах отсчета выполняются законы Ньютона?
- (6) Что является причиной изменения состояния покоя или равномерного прямолинейного движения тела в инерциальной системе отсчета?
- (7) Сформулируйте определение механической силы.
- (8) Какие взаимодействия называются фундаментальными? Назовите критерии, которые лежат в основе характеристики этих взаимодействий.
- (9) Приведите примеры физических явлений, в которых проявляются известные типы фундаментальных взаимодействий.
- (10) Сформулируйте условие равенства двух сил. Какая сила называется результирующей? Как находится результирующая нескольких сил, направленных под углом друг к другу?
- (11) При каком условии тело в системе, где действуют силы, будет находиться в состоянии покоя, или двигаться равномерно прямолинейно?
- (12) Что называют инертностью тела? Приведите примеры, которые подтверждают проявление инертности. Какая физическая величина служит мерой инертности тела?
- (13) Сформулируйте определение массы. Опишите известные вам способы измерения массы.
- (14) Сформулируйте второй закон Ньютона и дайте определения всех входящих в него физических величин.
- (15) 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?
- (16) Сформулируйте второй закон Ньютона в самой общей форме. В чем отличие этой формулировки от выраженной уравнением $\vec{F} = m\vec{a}$?
- (17) Что называют импульсом тела? В каких единицах измеряется импульс тела?

- (18) 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?
- (19) Сформулируйте третий закон Ньютон. Приведите примеры его проявления.
- (20) Являются ли уравновешивающими силы действия и противодействия? Имеют ли эти силы результирующую?
- (21) Человек тащит тележку. Перечислите силы, действующие на человека и тележку при движении по горизонтальной и наклонной дороге.
- (22) Какое трение называют сухим и какое — вязким?
- (23) Что определяет сила трения покоя? Как эту силу можно измерить на практике? Какие значения может принимать эта сила? В каких границах изменяется сила трения покоя? Что называют максимальной силой трения покоя?
- (24) Запишите аналитический вид закона Амонтон - Кулона. От чего зависит коэффициент трения покоя? Может ли быть он больше > 1 ?
- (25) 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° .
- (26) Начертите график зависимости силы сухого трения скольжения от относительной скорости движения. Как можно объяснить эту зависимость?
- (27) Запишите уравнения движения тела при его равноускоренном скольжении по шероховатой наклонной плоскости.
- (28) Запишите закон Кулона для трения качения. Проанализируйте, от каких факторов зависит эта сила? В чем заключается физический смысл коэффициента трения качения?
- (29) Объясните возникновение силы трения качения. Какую роль при этом играют пластичность и упругое последствие? Могла бы возникнуть сила трения качения, если бы тело, которое катится, и поверхность были абсолютно упругими?
- (30) 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.
- (31) Можно ли утверждать полную идентичность протекания некоторого явления или процесса во всех инерциальных системах отсчета? Подтвердите сделанный вывод примерами.
- (32) В чем заключается принцип относительности Галилея?

- (33) Приведите примеры, когда реальные объекты можно рассматривать как системы материальных точек. Какова природа сил взаимодействия между точками?
- (34) Что понимают под аддитивностью массы? Какими опытами подтверждается аддитивность массы?
- (35) Что называют центром масс механической системы? Запишите формулы для нахождения радиуса - вектора и координат центра масс системы материальных точек.
- (36) Что называют импульсом системы материальных точек?
- (37) Опираясь на третий закон Ньютона, покажите, что в замкнутой системе сумма внутренних сил равна нулю.
- (38) Сформулируйте закон сохранения импульса системы материальных точек. Приведите примеры применения закона сохранения импульса системы.
- (39) Каким образом необходимо выбрать начало координат системы отсчета для того, чтобы импульс механической системы был равен нулю?
- (40) Покажите, что для незамкнутых систем импульс может сохраняться неизменным относительно некоторых направлений. Приведите примеры.
- (41) Сформулируйте закон сохранения импульса механической системы, используя скорость движения центра масс системы.
- (42) Сформулируйте второй закон Ньютона для системы материальных точек. Поясните, почему в изменении импульса играют роль только внешние силы.
- (43) Запишите формулу движения тела переменной массы. Покажите, что уравнение движения тела переменной массы представляет собой второй закон Ньютона в его общей форме.

3. Механическая работа и энергия

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: $\delta A = (\vec{F}, d\vec{r})$.

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.

Теорема Кёнига • Полная кинетическая энергия системы равна сумме кинетической энергии системы в системе отсчёта центра масс этой системы и кинетической энергии поступательного движения центра масс: $T = T_c + \frac{MV_c^2}{2}$.

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.

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. Из данного свойства к. с. следует, что их работа по произвольному замкнутому контуру равна нулю.

При известной зависимости потенциальной энергии от координат $U = U(\vec{r})$, соответствующее силовое поле консервативных сил может быть найдено как $\vec{F}(\vec{r}) = -\vec{\nabla}U(\vec{r})$, где $\vec{\nabla}$ представляет собой векторный дифференциальный оператор градиента. В декартовой системе координат оператор градиента записывается следующим образом:

$$\vec{\nabla} = \hat{i} \frac{\partial}{\partial x} + \hat{j} \frac{\partial}{\partial y} + \hat{k} \frac{\partial}{\partial z},$$

где $\hat{i}, \hat{j}, \hat{k}$ — единичные векторы (орты) осей Ox, Oy, Oz соответственно. .

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

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.

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: $\vec{M} = [\vec{r}, \vec{F}]$.

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

Примеры тестовых вопросов по разделу «Механическая работа и энергия»

- (1) Запишите формулу для расчета работы постоянной силы.
- (2) Что можно сказать относительно работы центростремительной силы? Чему равна работа силы, которая действует на тело, движущееся по окружности с ускорением?
- (3) В каких случаях элементарную работу постоянной силы следует обозначать δA , а в каких dA ?
- (4) Как рассчитывается работа переменной силы? Как изобразить элементарную и полную работу на графике зависимости тангенциальной составляющей силы от пути?
- (5) Что называют мощностью? Каким образом можно найти работу, если известна мощность механизма? В каких случаях мощность можно выразить формулой $N = \vec{F} \cdot \vec{v}$?
- (6) Чему равна кинетическая энергия свободно падающего тела в момент падения на Землю, если в средней точке пути его потенциальная энергия равна U ?
- (7) Какие силы называются консервативными? Перечислите, какие из известных вам сил являются консервативными. Какие системы называются консервативными? Какие силы называются диссипативными?
- (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.
- (9) Докажите теорему об изменении кинетической энергии механической системы и объясните, почему эта теорема справедлива только для равнодействующей всех сил, приложенных к системе.
- (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?
- (11) Что называют потенциалом гравитационного поля? Запишите формулу работы гравитационных сил при движении материальной точки, применяя понятие потенциала.
- (12) Как зависит потенциальная энергия гравитационного взаимодействия двух материальных точек от расстояния между ними?
- (13) Для произвольной консервативной силы получите формулу, которая устанавливает связь консервативной силы с потенциальной энергией.
- (14) Будет ли при движении планеты по эллипсу оставаться постоянной ее полная механическая энергия? Будет ли меняться кинетическая энергия планеты?

- (15) Сформулируйте и запишите аналитическую форму закона сохранения механической энергии для замкнутой системы, в которой действуют консервативные и диссипативные силы.
- (16) По какому признаку делятся удары на абсолютно упругие и абсолютно неупругие?
- (17) 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?
- (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?
- (19) Выведите формулы для подсчета скоростей тел после удара при центральном абсолютно упругом ударе
- (20) При каком условии тело, которое участвует в столкновении, отскакивает от другого тела без потери кинетической энергии? Какой импульс при этом получает первое тело?

4. Движение АТТ. Неинерциальные системы отсчета.

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.

Плоское движение твёрдого тела • Частный вариант движения тела, при котором все его точки перемещаются в пространстве по траекториям, размещающимся в параллельных плоскостях. При П.д.т.т. любая выделенная в теле мгновенная ось вращения сохраняет направление в пространстве, перпендикулярное плоскостям движения точек тела.

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.

Теорема Гюйгенса-Штейнера • 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: $I = I_c + M\ell^2$.

Поступательная сила инерции • Векторная величина, численно равная произведению массы m материального объекта на его ускорение в инерциальной системе отсчета \vec{a}_0 и направленная противоположно ускорению: $\vec{F}_{\text{пост}} = -m\vec{a}_0$.

Сила Кориолиса • Одна из сил инерции, введённая для учёта влияния вращательного движения подвижной системы координат на относительное движение материальной точки. Названа по имени французского математика и инженера XIX в. Г. Г. Кориолиса. Сила Кориолиса \vec{F}_K равна произведению массы материальной точки на её ускорение Кориолиса и направлена противоположно этому ускорению: $\vec{F}_K = -m\vec{a}_K = -2m[\vec{\omega}, \vec{v}']$.

Центробежная сила • Сила инерции, возникающая в неинерциальных системах отсчета, совершающих вращение с угловой скоростью $\vec{\omega}$ относительно инерциальной («лабораторной») системы отсчета и равная $\vec{F}_C = -m[\vec{\omega}, [\vec{\omega}, \vec{r}']]$, где m — масса, а \vec{r}' — радиус-вектор движущегося в Н.и.с.о. тела.

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

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

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

Примеры тестовых вопросов по разделу «Движение АТТ. Неинерциальные системы отсчета»

- (1) Что называют моментом силы относительно точки? Относительно оси вращения? Покажите, что момент силы не изменяется при перемещении силы вдоль линии действия.
- (2) Какая из составляющих силы, действующей под углом к оси вращения, вызывает вращение тела? Чему равен момент силы, параллельной оси вращения?
- (3) Что называют парой сил?
- (4) Сформулируйте закон всемирного тяготения. В каких случаях аналитическое выражение этого закона для двух материальных точек справедливо и для тел, которые имеют конечные размеры?
- (5) Зависят ли периоды обращения планет вокруг Солнца от их масс? Каким был бы период обращения Луны вокруг Земли, если бы масса Луны была вдвое больше?
- (6) Какие опыты позволяют сделать заключение, что инертная и гравитационные массы пропорциональны между собой? В чем суть этих опытов?
- (7) Как определить массу Земли, если известна гравитационная постоянная?
- (8) Какую физическую величину называют напряженностью поля? Изобразите графическую зависимость модуля напряженности поля тяготения от расстояния до точки, которая создает поле. Какие поля называют центральными, однородными?
- (9) Сформулируйте законы Кеплера. Обоснуйте вывод этих законов. Как связаны законы Кеплера с законом всемирного тяготения?
- (10) При помощи каких физических законов можно доказать, что в соответствии с первым законом Кеплера планеты движутся по плоским эллиптическим траекториям?
- (11) Выведите формулу, по которой определяется первая космическая скорость.
- (12) Известно, что по мере увеличения радиуса орбиты скорость искусственного спутника Земли уменьшается. Означает ли это, что при запуске спутника на орбиты большего радиуса двигатели ракеты должны совершать меньшую работу?
- (13) Дайте определение третьей космической скорости. Проанализируйте все факторы, которые влияют на величину этой скорости.
- (14) Что называется моментом инерции материальной точки относительно оси? От чего зависит момент инерции тела? Какую роль он играет во вращательном движении?
- (15) Запишите известные вам формулы для вычисления моментов инерции однородных сплошных тел правильной геометрической формы (шар, куб, прямой круговой конус).

- (16) Сформулируйте теорему Гюйгенса-Штейнера. Что произойдет с моментом инерции тела, если ось перемещать параллельно самой себе, отдаляясь от центра инерции?
- (17) Найдите момент инерции стержня массой m и длиной ℓ , относительно оси, которая проходит на расстоянии $2/3$ от его конца перпендикулярно стержню.
- (18) Найдите момент инерции диска массой m и радиусом R относительно оси, которая перпендикулярна плоскости диска и проходит через его край.
- (19) Сформулируйте основной закон динамики вращательного движения твердого тела.
- (20) Что называется моментом импульса относительно точки? Относительно оси?
- (21) Сформулируйте закон сохранения момента импульса тела. Приведите примеры проявления этого закона.
- (22) Получите формулу для кинетической энергии тела, которое вращается вокруг неподвижной оси.
- (23) Получите формулу для кинетической энергии плоского движения твердого тела.
- (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} . Покажите, что получится такая же формула, если рассматривать качение относительно мгновенной оси вращения.
- (25) Какие оси вращения называют свободными? Главными осями инерции? Приведите примеры вращения тел вокруг свободных осей. Поясните характерные особенности, которыми сопровождается вращение тел вокруг осей с наименьшим и наибольшим моментом инерции.
- (26) Сформулируйте условия равновесия твердого тела. Перечислите виды равновесия. Какие изменения могут происходить с кинетической энергией тел при разных видах равновесия?
- (27) Какие системы отсчета называют неинерциальными? В чем заключается принципиальное отличие сил инерции от других сил, определяющих взаимодействие тел? Как меняются силы инерции и ньютоновские силы при переходе от одной неинерциальной системы отсчета к другой?
- (28) Запишите формулу для силы инерции в неинерциальной системе отсчета, которая движется поступательно. Как направлена эта сила? Является ли сила инерции консервативной? Может ли она совершать работу?
- (29) Чем различается аналитический вид второго закона Ньютона в инерциальной и неинерциальной системах отсчета? Выполняется ли третий закон Ньютона в НИСО?
- (30) На тележке, которая движется по горизонтальной поверхности с постоянным ускорением $a = 5 \text{ м/с}^2$, на нити длиной $\ell = 1 \text{ м}$ висит груз массой $m = 1 \text{ кг}$. Найдите

силу натяжения нити и угол, который она образует с вертикалью, при условии, что груз неподвижен относительно тележки.

(31) Выполняются ли законы сохранения механической энергии и импульса в неинерциальных системах отсчета? Приведите соответствующие пояснения.

(32) В чем заключается отличие происхождения поля сил инерции и поля сил тяготения? В чем заключаются особенности поля сил инерции?

(33) В чем заключается принцип суперпозиции полей сил инерции и притяжения? Ощущает ли отличие поля сил инерции и поля сил тяготения наблюдатель, который находится в неинерциальной системе отсчета?

(34) Какие силы инерции возникают во вращающихся системах отсчета? По какой формуле рассчитывается центробежная сила инерции? Как определяется ее направление? Зависит ли направление центробежной силы от направления угловой скорости вращения?

(35) Как изменится модуль центробежной силы инерции, если скорость вращения системы отсчета увеличить в n раз? Дайте необходимые пояснения.

(36) При движении космического корабля по круговой орбите имеет место состояние невесомости. Почему оно пропадает, когда корабль входит в атмосферу Земли? На каких участках траектории космического корабля возникают перегрузки? Что называют перегрузкой?

(37) При каких условиях возникают кориолисовы силы инерции? Зависит ли сила Кориолиса от скорости движения тела во вращающейся системе отсчета? Приведите примеры проявления сил Кориолиса на Земле.

(38) По какой формуле находится сила Кориолиса? Сформулируйте правило, по которому определяется направление силы Кориолиса. Почему сила Кориолиса отсутствует, когда тело движется параллельно оси вращения системы?

(39) Как направлена сила Кориолиса при движении тела: по экватору с востока на запад; с запада на восток; на экваторе вдоль меридиана?

(40) Объясните, как на основе существования сил Кориолиса было экспериментально доказано суточное вращение Земли при помощи маятника Фуко.

(41) Существование кориолисовых сил является результатом того, что в северном полушарии правый берег реки всегда более крутой, чем левый; правый рельс железной дороги изнашивается сильнее, чем левый. Вместе с тем известно, что сила Кориолиса перпендикулярна вектору относительной скорости и, следовательно, не может выполнять работы. За счет какой энергии выполняется работа в рассмотренных выше случаях?

(42) Дайте определение веса тела. Какова природа этой силы? Запишите формулу связи веса тела с силами инерции для системы, которая движется относительно Земли

поступательно с некоторым ускорением.

(43) Какие причины обуславливают зависимость ускорения свободного падения от географической широты места? Как выражается эта зависимость?

(44) Какой формулой определяется угол между направлением к центру Земли и направлением линии отвеса? От чего зависит его величина? В каких границах он изменяется?

(45) В каких границах изменяется вблизи поверхности Земли ускорение свободного падения? Какие причины обуславливают эти изменения?

(46) Одно и то же тело взвесили на пружинных и рычажных весах на экваторе и полюсе. Различаются показания этих приборов? Если, да, то каким именно образом? Дайте необходимые пояснения.

(47) Что называют гироскопом? Какие оси имеет гироскоп? В чем заключается гироскопический эффект? Какие явления называют прецессией? Нутацией?

(48) Почему под действием момента внешних сил, перпендикулярного оси собственного импульса, гироскоп начинает совершать прецессию?

(49) Приведите примеры практического применения гироскопического эффекта.

5. Колебания и волны

Гармонические колебания • Колебания, при которых физическая (или любая иная) величина изменяется с течением времени по гармоническому закону: $\xi(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$, где $\xi(t)$ — значение колеблющейся величины в момент времени t , A — амплитуда колебаний, ω — циклическая (угловая) частота колебаний, φ — начальная фаза колебаний.

Период • Промежуток времени между двумя последовательными прохождениями точки или системы в периодическом движении через одно и то же положение в одном и том же направлении.

Частота • Отношение числа N колебаний, совершаемых за промежуток времени Δt , к этому промежутку времени, иными словами, число колебаний в единицу времени: $\nu = N/\Delta t$. Ч. является обратной величиной к периоду колебаний $\nu = T^{-1}$.

Циклическая частота • Число колебаний за время, равное 2π секунд, т.е. Ц.ч. равна произведению частоты колебаний ν на 2π : $\omega = 2\pi\nu$. Ц.ч. равна производной по времени от фазы гармонических колебаний. Единицей измерения Ц.ч. в СИ является радиан на секунду (рад/с)..

Фаза колебаний • Аргумент гармонической функции $\cos(\omega t + \varphi)$ или $\sin(\omega t + \varphi)$, описывающей гармонический колебательный процесс (ω — круговая (циклическая) частота, t — время, φ — начальная Ф.к., т.е. Ф.к. в начальный момент времени $t = 0$). Ф.к. определяется с точностью до произвольного слагаемого, кратного 2π .

Амплитуда колебаний • Наибольшее по модулю отклонение колеблющейся величины от ее среднего значения.

Математический маятник • Материальная точка, совершающая под действием силы тяжести колебания вдоль дуги окружности, расположенной в вертикальной плоскости. Практически М.м. можно считать груз, подвешенный на нерастяжимой нити, если размеры груза очень малы по сравнению с длиной нити и масса нити очень мала по сравнению с массой груза.

Физический маятник • Твёрдое тело, совершающее под действием силы тяжести колебания вокруг горизонтальной оси подвеса.

Приведённая длина физического маятника • Длина математического маятника ℓ_0 , при которой период его колебаний совпадает с периодом колебаний рассматриваемого физического маятника. Величина П.д.ф.м. определяется выражением $\ell_0 = \frac{J}{m\ell_{ц.т.}}$, где J — момент инерции тела относительно оси, проходящей через точку подвеса (ось колебаний); m — масса колеблющегося тела; $\ell_{ц.т.}$ — расстояние от центра тяжести до оси колебаний.

Центр качания физического маятника • Точка в пространстве, в которой можно сосредоточить всю массу физического маятника и при этом период колебаний не изменится.

Теорема Гюйгенса о центре качания • Если подвесить физический маятник за центр качания, то его период колебаний не изменится, а точка подвеса станет новым центром качания.

Вынужденные колебания • Колебания, которые совершаются под влиянием периодического вынуждающего воздействия. В случае механических колебаний вынуждающим воздействием является внешняя периодическая механическая сила. Дифференциальное уравнение В.к. при гармоническом вынуждающем воздействии

$$\frac{d^2\xi}{dt^2} + 2\beta\frac{d\xi}{dt} + \omega_0^2\xi = \frac{F_m}{m} \cos \Omega t,$$

где ξ — смещение тела из положения равновесия, β — коэффициент затухания; ω_0 — циклическая частота свободных незатухающих колебаний системы; F_m — амплитуда внешней силы; m — величина, характеризующая инерционные свойства колеблющейся системы, в случае поступательного движения масса тела; Ω — циклическая частота вынуждающего воздействия.

Логарифмический декремент колебаний • Логарифм отношения амплитуд затухающих колебаний в моменты времени, разделенные промежутком в один период: $\lambda = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)}$.

Добротность • Параметр колебательной системы, определяющий ширину резонанса и характеризующий, во сколько раз запасы энергии в системе больше, чем потери энергии за время изменения фазы колебаний на 1 радиан.

Амплитудно-частотная характеристика • Зависимость амплитуды гармонических вынужденных колебаний от частоты гармонического возбуждения.

Фазо-частотная характеристика • Зависимость разности фаз между гармоническими вынужденными колебаниями и гармоническим возбуждением от его частоты.

Резонанс • Резкое изменение характеристик колебаний механической системы, наступающее при совпадении собственных частот с частотой вынуждающей силы.

Автоколебания • Незатухающие колебания, существующие в системе без воздействия на неё внешних сил. Источник энергии входит в состав автоколебательной системы, а поступление энергии регулируется движением самой системы.

Биения • Периодические изменения амплитуды колебания, возникающие при сложении двух гармонических колебаний с близкими частотами.

Фигуры Лиссажу • Траектории результирующего движения точки, участвующей одновременно в двух взаимно перпендикулярных гармонических колебаниях. Форма Ф.Л. зависит от отношения частот, разности начальных фаз и отношения амплитуд двух колебаний. Например, при равенстве частот двух колебаний Ф.Л. имеет форму эллипса.

Волны • Возмущения, распространяющиеся с конечной скоростью в пространстве и несущие с собой энергию без переноса вещества. Наиболее часто встречаются упругие волны, например, звуковые (акустические), волны на поверхности жидкости и электромагнитные волны.

Длина волны • Пространственный период волны, т. е. расстояние между двумя ближайшими точками гармонической бегущей волны, находящимися в одинаковой фазе колебаний, или удвоенное расстояние между двумя ближайшими узлами или пучностями стоячей волны.

Волновое число • Разность фазы волны (в радианах) в один и тот же момент времени в пространственных точках на расстоянии единицы длины. В.ч. может быть найдено как отношение 2π радиан к длине волны: $k = \frac{2\pi}{\lambda}$.

Волновое уравнение • Дифференциальное уравнение второго порядка в частных производных, описывающее процесс распространения возмущений в некоторой среде. В случае малых возмущений и однородной изотропной среды в декартовых координатах В.У. имеет вид: $\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}$, где x, y, z - пространственные декартовы координаты, t — время, $\xi = \xi(x, y, z, t)$ - функция, характеризующая возмущение среды в точке с координатами x, y, z в момент времени t , c — фазовая скорость волнового процесса.

Бегущая волна • Волновое движение, при котором поверхности равной фазы (фазовые волновые фронты) перемещаются с конечной скоростью. С Б.в., групповая скорость которой отлична от нуля, связан перенос энергии или импульса.

Стоячая волна • Периодическое или квазипериодическое во времени синфазное колебание с характерным пространственным распределением амплитуды — чередованием узлов (нулей) и пучностей (максимумов). В линейных системах С.в. может быть представлена как сумма двух бегущих волн, распространяющихся навстречу друг другу.

Волновая поверхность • Геометрическое место точек волны, в которых колебания совершаются в одинаковой фазе (синфазно). Скорость волны всегда направлена перпендикулярно В.п. По форме В.п. волны разделяют на плоские, сферические, цилиндрические и др.

Волновой фронт • Наиболее удалённая от источника волновая поверхность.

Фазовая скорость • Величина, характеризующая, скорость перемещения фазы волны в определенном направлении. В случае монохроматической плоской волны вида $\xi(x, t) = A \cos(\omega t - kx)$, где A — амплитуда, ω — круговая частота, k - волновое число, t — время, x — расстояние, отсчитываемое в направлении распространения, фазовые фронты или плоскости постоянной фазы перемещаются в пространстве вдоль оси Ox с Ф.с. $v_{\text{ф}} = v_x = \omega/k$, где ω - угловая частота, k — волновое число.

Групповая скорость • Величина, характеризующая скорость распространения «группы волн» - то есть более или менее хорошо локализованной квазимонохроматической волны (волны с достаточно узким спектром). При отсутствии поглощения в среде совпадает со скоростью перемещения энергии этой группы волн. Модуль Г.с. может быть найден из закона дисперсии: $v_{\text{гр}} = \frac{\partial \omega}{\partial k}$, где ω - угловая частота, k — волновое число.

Дисперсия волн • Зависимость фазовой скорости гармонических волн в среде от частоты их колебаний.

Эффект Доплера • Изменение частоты и, соответственно, длины волны излучения, воспринимаемой наблюдателем (приёмником), вследствие движения источника излучения относительно наблюдателя (приёмника). В нерелятивистском случае регистрируемая приемником частота ω может быть найдена по формуле: $\omega = \omega_0 \frac{1 + u/V}{1 - v/V}$,

где ω_0 - частота волны, испускаемая источником, V - скорость распространения волн в среде, v - скорость источника волн относительно среды (положительная, если источник приближается к приёмнику и отрицательная, если удаляется), u - скорость приёмника относительно среды (положительная, если он движется по направлению к источнику).

Вектор Умова-Пойнтинга • Вектор, характеризующий плотность потока энергии в волновом процессе. Направление в. У.-П. совпадает с направлением переноса энергии, а его модуль равен энергии, переносимой волной за единицу времени через единичную площадку, расположенную перпендикулярно направлению распространения волны.

Примеры тестовых вопросов по разделу «Колебания и ВОЛНЫ»

- (1) Какое движение называется колебательным? Приведите примеры.
- (2) Какие колебания называются гармоническими? По каким критериям эти колебания в природе и технике выделяют в особую группу?
- (3) Дайте определение основных величин, характеризующих гармоническое колебательное движение (амплитуды, фазы, периода, частоты, циклической частоты). Каков физический смысл этих характеристик?
- (4) Какими признаками определяются упругие силы? В чем различие упругих и квазиупругих сил?
- (5) Какие колебания называются свободными? При каких условиях свободные колебания будут незатухающими?
- (6) На примере прямолинейных гармонических колебаний установите связь между амплитудами и фазами смещения скорости и ускорения материальной точки.
- (7) В течении какой доли периода колебаний совпадают направления векторов смещения и скорости простого гармонического осциллятора?
- (8) При помощи метода векторных диаграмм найдите выражение для амплитуды: результирующего колебания, полученного в результате сложения двух колебаний одного направления и одинаковых частот. При каком условии амплитуда результирующего колебания равна сумме амплитуд составляющих колебаний? Модулю их разности?
- (9) В каком случае при сложении двух колебаний будет наблюдаться процесс биеений? Запишите уравнение такого процесса, изобразите график зависимости смещения от времени.
- (10) Каков вид траектории точки, которая участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных гармонических колебаниях с одинаковыми частотами? При каких значениях разности фаз траекторией движения будет прямая и при каких — эллипс?
- (11) Что называется фигурами Лиссажу? Как по виду фигур Лиссажу можно установить соотношение частот складываемых колебаний?
- (12) Выведите формулы для периодов колебаний пружинного, математического и физического маятников.
- (13) В чем состоит различие между математическим и физическим маятниками? В чем заключается физический смысл приведенной длины физического маятника?
- (14) Почему период колебаний математического маятника не зависит от массы, а период физического маятника зависит от момента инерции.

- (15) Какие колебания называются затухающими? Как изменяется со временем амплитуда затухающих колебаний? Выразите эту зависимость аналитически и графически.
- (16) Что понимают под периодом затухающих колебаний? Что такое коэффициент затухания, логарифмический декремент, добротность колебательной системы?
- (17) Получите формулы, выражающие зависимость кинетической и потенциальной энергий колебательной системы от времени. В каких случаях полная энергия колебательной системы будет постоянной? Представьте энергетические характеристики колебательной системы графически.
- (18) Дайте определение собственных и вынужденных колебаний системы. Запишите дифференциальное уравнение вынужденных колебаний. Какова зависимость амплитуды вынужденных колебаний, возбуждаемых силой, которая изменяется по гармоническому закону, от частоты этой силы? Представьте данную зависимость аналитически и графически - для нескольких различных коэффициентов сопротивления.
- (19) В чем состоит суть явления резонанса? От чего зависит резонансная частота? Запишите формулу, определяющую резонансную частоту. Приведите примеры явления резонанса.
- (20) Какие системы называют автоколебательными? Приведите пример такой системы. Из каких основных элементов состоит автоколебательная система? Приведите пример релаксационных колебаний и охарактеризуйте их.
- (21) Что называют волновым движением? Какие силы должны действовать между частицами среды, чтобы в ней могли распространяться колебания?
- (22) Какие волны называются продольными? поперечными? Объясните механизм распространения деформаций в каждом из этих случаев. Какие волны могут распространяться в твердых телах, жидкостях и газах?
- (23) Что можно сказать о переносе энергии упругой деформации и переносе массы при распространении механической волны?
- (24) Объясните качественно зависимость скорости упругих волн от модуля Юнга (модуля сдвига) и плотности среды.
- (25) В чем состоит различие между гармоническими колебаниями и волновым процессом? Запишите уравнение плоской монохроматической волны, дайте определение физических характеристик волны. Какова связь между этими величинами?
- (26) Нарисуйте график зависимости координат точек среды, в которой распространяется бегущая волна, от расстояния до источника волны. На каком расстоянии друг от друга находятся соседние точки среды, которые колеблются в одинаковых фазах?
- (27) Что называется фронтом волны? Чем отличается фронт волны от волновой поверхности? Какие волны называются плоскими, сферическими? Приведите примеры.

- (28) Что называют фазовой и групповой скоростями? Чем вызвано их различие? Могут ли эти скорости совпадать? Что называют дисперсией волн?
- (29) Как образуются стоячие волны? Перечислите свойства, которые отличают стоячую волну от бегущей. Что называют узлами и пучностями смещений в стоячей волне?
- (30) В чем заключается суть эффекта Доплера? Запишите формулу частоты воспринимаемого звука для случая неподвижного источника и движущегося наблюдателя; неподвижного наблюдателя и движущегося источника. Приведите примеры проявления эффекта Доплера для механических волн.

6. Основы специальной теории относительности (СТО)

Постулаты СТО • (1) Все законы природы инвариантны относительно выбора любой инерциальной системы отсчёта (принцип относительности Эйнштейна). (2) Свет распространяется в вакууме в любой ИСО с определённой скоростью, которая не зависит ни от скорости источника, ни от скорости наблюдателя и является максимальной скоростью распространения информации во Вселенной.

Преобразования Лоренца • Соотношения, описывающие преобразование координат и времени при переходе от одной инерциальной системы отсчёта к другой. Если одна И.с.о. (K') движется относительно другой (K) с постоянной скоростью V вдоль оси Ox , направления осей Oy, Oy' и Oz, Oz' попарно параллельны, а начало отсчёта времени в обеих системах выбрано, когда их начала координат совпадали, то преобразования Лоренца будут иметь следующий вид: $x = \gamma(x' + \beta ct')$, $ct = \gamma(ct' + \beta x')$, $y = y'$, $z = z'$, где c - скорость света в вакууме, $\beta = V/c$, $\gamma = 1/\sqrt{1 - \beta^2}$.

Событие • В теории относительности — моментальное локальное явление, происходящее в уникальном времени и месте, то есть точка в пространстве-времени.

Относительность промежутков времени • Одно из следствий СТО, непосредственно вытекающее из преобразований Лоренца. Согласно этим преобразованиям, если точка пространства, в которой происходят два последовательных события, движется относительно наблюдателя со скоростью V , то измеренное наблюдателем время Δt между этими событиями при прочих равных условиях зависит от скорости V , подчиняясь зависимости $\Delta t = \frac{\Delta \tau}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}$, где $\Delta \tau$ — собственное время между событиями, измеренное тем наблюдателем, для которого точка пространства, в которой эти события происходят, остаётся неподвижной; c — скорость света в вакууме.

Относительность отрезков длины • Одно из следствий специальной теории относительности, согласно которому собственный продольный размер ℓ_0 тела, измеренный в той системе отсчёта, где тело неподвижно, и продольный размер ℓ тела (размер тела вдоль скорости движения), измеренный наблюдателем, который движется относительно тела со скоростью V , оказываются различными и связанными соотношением $\ell = \ell_0 \sqrt{1 - V^2/c^2}$.

Интервал • Скалярная величина, характеризующая связь между пространственным расстоянием и промежутком времени, разделяющими два события. С математической точки зрения И. есть «расстояние» между двумя событиями в четырёхмерном пространстве-времени. В специальной (частной) теории относительности квадрат И. (S_{AB}) между двумя событиями A и B равен: $S_{AB}^2 = (c\Delta t)^2 - (\Delta r)^2$, где Δt и Δr — соответственно, пространственное расстояние и промежуток времени между этими событиями. И. между событиями остаётся неизменным при переходе от одной инерциальной системы отсчёта к другой, т. е. инвариантен относительно преобразований Лоренца.

Мировая линия • В теории относительности, геометрический образ четырёхмерной «траектории» материальной точки (частицы) в пространстве-времени или в эквивалентном ему пространстве Минковского, не зависящий от системы отсчёта. Каждая

точка на М. л. есть «мировая точка», или «событие», отмечающее положение частицы (её пространственные координаты и соответствующий этому положению момент времени).

Релятивистский закон сложения скоростей • При движении двух объектов со скоростями v_1 и v_2 близкими к скорости света вдоль одного и того же направления относительная скорость первого из них в системе отсчета второго определяется по формуле $v_{12} = \frac{v_1 - v_2}{1 - \frac{v_1 v_2}{c^2}}$.

Релятивистский инвариант энергии-импульса • Полная энергия E , импульс p и масса m релятивистской частицы связаны соотношением: $E^2 - p^2 c^2 = m^2 c^4$.

Примеры тестовых вопросов по разделу «Основы специальной теории относительности»

- (1) В чем различие ньютоновских представлений о пространстве и времени в классической механике и представлений об этих формах существования материи в специальной теории относительности?
- (2) Сформулируйте первый и второй постулаты Эйнштейна. Как эти постулаты подтверждаются преобразованиями Лоренца? Как связаны между собой эти преобразования с преобразованиями Галилея?
- (3) Времениподобным или пространственноподобным является интервал между стартом и возвращением космического корабля?
- (4) Предположим, что скорость света стала бесконечно большой. Что произошло бы при этом с предсказаниями теории относительности по поводу сокращения длины и замедления времени?
- (5) Какие вам известны величины, сохраняющиеся при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой?
- (6) Две частицы удаляются в противоположные стороны от некоторого наблюдателя со скоростью $v = \frac{3}{5}c$ каждая. Каков модуль их относительной скорости?
- (7) Полная энергия релятивистской частицы в n раз превышает ее энергию покоя. Каково отношение модуля импульса частицы к произведению ее массы на скорость света $\frac{p}{mc}$.
- (8) Чему равна производная энергии релятивистской частицы по ее импульсу $\frac{\partial E}{\partial p}$?
- (9) К телу массой m в течение бесконечного периода времени приложена постоянная сила. Как изменяются со временем скорость и импульс этого тела?
- (10) Релятивистская частица движется со скоростью, при которой ее кинетическая энергия равна энергии покоя. Какую долю составляет ее скорость от скорости света в вакууме?