

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

МЕХАНИКА

Динамика

(импульс, энергия, силы тяжести, силы упругости, силы трения).

Статика. Гидроаростатика.

Механические колебания и волны

Часть II

Учебное пособие
по физике для слушателей,
обучающихся по программам подготовки к поступлению в вуз

Нижний Новгород
2013

УДК 531(075)

ББК 22.21(я7)

Рецензенты:

Демин И.Ю. - кандидат физико-математических наук, доцент кафедры акустики радиофизического факультета Нижегородского государственного научно-исследовательского университета им. Н.И. Лобачевского

Малиновская Г.А. - кандидат технических наук, доцент кафедры математики и системного анализа Нижегородского института управления (филиал РАНХиГС)

МЕХАНИКА. Динамика (импульс, энергия, силы тяжести, силы упругости, силы трения). Статика. Гидроаростатика. Механические колебания и волны. Часть II: уч. пособие / авт.-сост. Н.Е. Демидова; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т.– Н.Новгород: ННГАСУ, 2013. – 138с.

В пособии кратко, доступно и систематизировано изложен теоретический материал, приведены примеры решений типовых задач, дан список задач с ответами для самостоятельного решения по разделам: «Динамика (импульс, энергия, силы тяжести, силы упругости, силы трения)», «Статика. Гидроаростатика», «Механические колебания и волны».

Пособие рекомендуется для использования на курсах по подготовке к поступлению в вуз и для самостоятельной подготовки слушателей к сдаче экзамена по физике. Пособие будет полезно не только учащимся, но и преподавателям, работающим со слушателями подготовительных курсов.

ВВЕДЕНИЕ

Цель данного пособия – помочь выпускникам эффективно подготовиться к успешному выполнению заданий единого государственного экзамена по физике (ЕГЭ).

Данное издание является продолжением I части пособия «Механика», концентрирует внимание школьников на ключевых, базовых вопросах разделов: Динамика (импульс, энергия, силы тяжести, силы упругости, силы трения); Статика; Гидростатика; Механические колебания и волны.

Учебный материал содержит достаточно подробный теоретический материал, типовые задачи с решениями и задания для самостоятельной работы. Самостоятельное решение задач позволит учащемуся применить полученные теоретические знания и закрепить практические навыки.

Задачи для самостоятельного решения составлены по примеру вариантов экзаменационных работ, включенных в часть А, часть В и часть С вариантов ЕГЭ.

В конце публикации предложены справочные материалы, необходимые при решении задач, список использованной для подготовки издания литературы.

Издание также может быть полезно абитуриентам, готовящимся к вступительному экзамену по физике в вуз, проводимому по традиционной методике, и преподавателям физики, работающим со слушателями подготовительных курсов.

1. ДИНАМИКА

1.1. Импульс

Импульс (от лат. *impulsus* – удар), \vec{p} – количество движения, мера механического движения, равная для материальной точки произведению её массы m и скорости V :

$$\vec{p} = m\vec{V} . \quad (1)$$

Единица измерения импульса в системе единиц СИ: $[p]=1 \text{ кг}\cdot\text{м}/\text{с}=1\text{Н}\cdot\text{с}$.

Изменение импульса $\Delta\vec{p}$ обусловлено действием силы:

$$\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{\Delta\vec{V}}{\Delta t} = \frac{\Delta m\vec{V}}{\Delta t} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t} \Rightarrow \Delta\vec{p} = \vec{F}\Delta t, \text{ где } F = \text{const} . \quad (2)$$

Произведение $\vec{F}\Delta t$ называется *импульсом силы*. Единица измерения импульса силы в системе единиц СИ: $[F\Delta t]=1\text{Н}\cdot\text{с}=1 \text{ кг}\cdot\text{м}/\text{с}$.

Если сила меняется со временем, то есть $\vec{F} = \vec{F}(t)$, то изменение импульса определяется интегралом силы по времени:

$$\Delta\vec{p} = m\Delta\vec{V} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt , \quad (3)$$

где t_1 и t_2 – начальный и конечный моменты времени действия силы соответственно.

На графике силы изменение импульса определяется площадью фигуры под зависимостью силы от времени (рис. 1, 2).

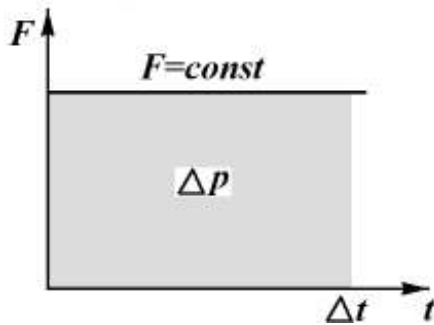


Рис. 1. Зависимость постоянной силы от времени

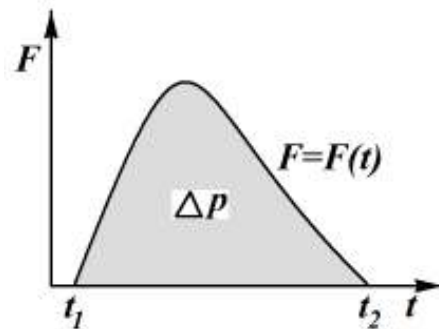


Рис. 2. Пример графика силы, меняющейся со временем

Импульс механической системы – векторная сумма импульсов всех материальных точек системы:

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots + \vec{p}_n = m_1\vec{V}_1 + m_2\vec{V}_2 + \dots + m_n\vec{V}_n, \quad (4)$$

где n – число материальных точек системы.

1.1.1. Закон сохранения импульса

Закон сохранения импульса (ЗСИ) – импульс замкнутой системы (замкнутой с точки зрения обмена импульсами с внешними телами, не принадлежащими данной системе) в процессе её движения не изменяется:

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots + \vec{p}_n = m_1\vec{V}_1 + m_2\vec{V}_2 + \dots + m_n\vec{V}_n = const, \quad (5)$$

где n – число материальных точек системы.

Импульсы отдельных частей системы могут изменяться в результате их взаимодействия. Закон сохранения импульса справедлив для инерциальных систем отсчёта.

Импульс замкнутой системы может меняться только под воздействием внешней силы.

1.1.2. Лобовое, центральное упругое соударение

При соударении тела обмениваются энергией и импульсом. После соударения тела движутся со скоростями, отличающимися от их скоростей до столкновения.

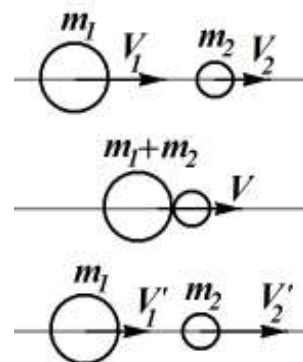
При лобовом центральном соударении центры масс обоих тел движутся вдоль одной линии. При упругом столкновении тела кратковременно движутся с одной скоростью, затем разлетаются и продолжают двигаться отдельно каждое со своей скоростью.

Рис. 3. Пример центрального упругого соударения:

V_1 и V_2 – скорости до удара;

V – скорость в момент соприкосновения;

V_1' и V_2' – скорости после удара



Рассмотрим движение двух тел до и после упругого столкновения, центры масс которых движутся вдоль одной линии. На рис. 3 показано движение двух тел с массами m_1 и m_2 . В верхней части рисунка представлено движение тел до столкновения, ниже – короткий момент совместного движения упругих тел в момент соприкосновения, внизу – движение тел после разлёта.

Запишем закон сохранения импульса (5) системы для моментов времени движения тел, отражённых на верхней и нижней частях рис. 3:

$$m_1\vec{V}_1 + m_2\vec{V}_2 = m_1\vec{V}_1' + m_2\vec{V}_2'. \quad (6)$$

Закон сохранения импульса в скалярной форме, в проекциях на горизонтальную ось:

$$m_1V_1 + m_2V_2 = m_1V_1' + m_2V_2' \text{ или } m_1(V_1 - V_1') = m_2(V_2' - V_2). \quad (7)$$

Кинетическая энергия системы тел определяется суммой кинетических энергий (7) каждого тела системы. Кинетическая энергия замкнутой системы тел до и после упругого удара сохраняется:

$$\frac{m_1V_1^2}{2} + \frac{m_2V_2^2}{2} = \frac{m_1V_1'^2}{2} + \frac{m_2V_2'^2}{2} \text{ или}$$

$$m_1(V_1 - V_1')(V_1 + V_1') = m_2(V_2' - V_2)(V_2' + V_2). \quad (8)$$

Используя (7) и (8), приходим к выражению:

$$V_1 + V_1' = V_2 + V_2'. \quad (9)$$

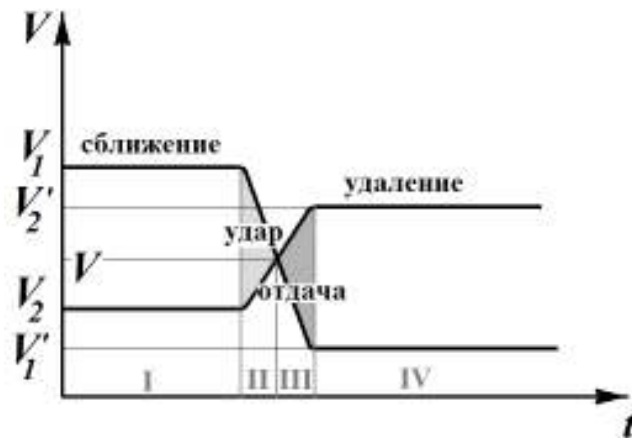
Из (9) видно, что при лобовом упругом соударении суммы проекции скоростей тел до и после удара равны.

На рис. 4 вдоль оси времени отмечены участки: I – время сближения тел; II и III – время их прикосновения (удара и отдачи); IV – время удаления. Выразим из (9) скорости тел после удара и подставим полученные выражения в (7):

$$V_1' = V_2 + V_2' - V_1 \text{ и } V_2' = V_1 + V_1' - V_2;$$

$$m_1(V_1 - V_1') = m_2(V_1 + V_1' - V_2 - V_2) \text{ и } m_1(V_1 - V_2 - V_2' + V_1) = m_2(V_2' - V_2).$$

Рис. 4. Графики скоростей упруго сталкивающихся тел



Окончательные выражения для V_1' и V_2' :

$$V_1' = \frac{(m_1 - m_2)V_1 + 2m_2V_2}{m_1 + m_2} \quad \text{и} \quad V_2' = \frac{(m_2 - m_1)V_2 + 2m_1V_1}{m_1 + m_2} \quad (10)$$

При противоположном направлении движения тела относительно предложенного на рис. 3 проекция его скорости в выражениях (10) изменит знак.

1.1.3. Лобовое, центральное неупругое соударение

При неупругом столкновении тела деформируются в месте соприкосновения и затем движутся как единое целое с общей скоростью. При этом, в отличие от упругого столкновения, механическая энергия не сохраняется, часть её переходит в тепловую энергию неупругой деформации.

Рассмотрим движение двух тел до и после неупругого столкновения, центры масс которых движутся вдоль одной линии. На рис. 5 показано движение двух тел с массами m_1 и m_2 . Вверху рисунка представлено движение тел перед столкновением, внизу – движение тел сразу после удара.

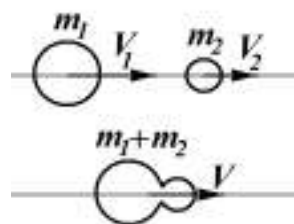
Рис 5. Пример центрального неупругого

столкновения:

V_1 и V_2 – скорости до удара;

V – скорость после удара;

m_1 и m_2 – массы тел



Запишем закон сохранения импульса (5) системы тел для моментов времени движения тел, отражённых на верхней и нижней частях рис. 5:

$$m_1 \vec{V}_1 + m_2 \vec{V}_2 = (m_1 + m_2) \vec{V}. \quad (11)$$

Закон сохранения импульса в скалярной форме в проекциях на горизонтальную ось:

$$m_1 V_1 + m_2 V_2 = (m_1 + m_2) V. \quad (12)$$

Отсюда получим скорость тел вначале движения как единого целого:

$$V = \frac{m_1 V_1 + m_2 V_2}{m_1 + m_2}. \quad (13)$$

При противоположном направлении движения тела относительно предложенного на рис. 4 проекция его скорости в выражении (13) изменит знак.

Кинетическая энергия системы тел до неупругого удара больше, чем после него, так как часть первоначальной энергии, как говорилось выше, переходит в тепловую энергию неупругой деформации тел. Запишем кинетическую энергию системы тел до и после столкновения, E_{KI} и E_{KII} соответственно:

$$E_{KI} = \frac{m_1 V_1^2}{2} + \frac{m_2 V_2^2}{2} \text{ и } E_{KII} = \frac{(m_1 + m_2) V^2}{2}. \quad (14)$$

С учётом (13) и (14) энергия деформации тел равна:

$$E_{\text{д}} = E_{\text{кI}} - E_{\text{кII}} = \Delta E_{\text{к}} = \frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)} (V_1 - V_2)^2. \quad (15)$$

1.2. Энергия

Эне́ргия (лат. *energeia* – действие, деятельность; др.-греч. ἔνεργεια — действие, деятельность, сила, мощь) E — скалярная физическая величина, являющаяся единой мерой различных форм движения и взаимодействия материи, мерой перехода движения материи из одних форм в другие. Для количественной характеристики различных форм движения материи и соответствующих им взаимодействий вводят различные виды энергии. Единица измерения энергии в системе единиц СИ – джоуль: $[E] = 1 \text{ Дж}$.

1.2.1. Механическая энергия

Механическая энергия $E_{\text{МЕХ}}$ – энергия механического движения и взаимодействия тел или их частей, равная сумме *кинетической* и *потенциальной* энергий системы:

$$E_{\text{МЕХ}} = E_{\text{к}} + E_{\text{п}}. \quad (16)$$

Кинетическая энергия $E_{\text{к}}$ – энергия движения, этой энергией обладают тела массой m , движущиеся со скоростью V :

$$E_{\text{к}} = \frac{mV^2}{2}. \quad (17)$$

Потенциальная энергия тела E_{Π} – энергия взаимодействия, этой энергией обладают тела массой m , поднятые на высоту h над нулевым уровнем потенциальной энергии (часто его удобно выбрать на поверхности Земли):

$$E_{\Pi} = mgh, \quad (18)$$

где $g \approx 10 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения у поверхности Земли ($h \ll \text{радиуса Земли}$).

Потенциальная энергия упруго деформированного тела:

$$E_{\Pi} = \frac{kS^2}{2}, \quad (19)$$

где k – коэффициент упругости (жёсткость пружины); S – упругое растяжение тела (смещение от положения равновесия пружины). Упруго деформированное тело после снятия нагрузки принимает первоначальную форму.

1.2.2. Работа

Работа A – физическая скалярная величина, характеризующая преобразование энергии из одной формы в другую, происходящее в данном физическом процессе. Единица измерения работы в системе единиц СИ, как и энергии, – джоуль: $[A] = 1 \text{ Дж}$.

Работа характеризует процесс, во время которого сила деформирует или перемещает тело.

Работа силы по перемещению тела

Если сила постоянна $F = \text{const}$ (рис. 6), то

$$A = FS \cos \alpha, \quad (20)$$

где F – модуль силы, действующей на тело; S – модуль перемещения тела; α – угол между векторами \vec{F} и \vec{S} .

Если сила меняется со временем $F \neq \text{const}$ (рис. 7), то есть $\vec{F} = \vec{F}(t)$, то работа этой силы определяется интегралом силы по перемещению:

$$A = \int_{S_1}^{S_2} F dS, \quad (21)$$

где S_1 и S_2 – мгновенные значения перемещений тела соответственно в начальном и конечном его положениях.

На зависимости силы, приложенной к телу, от перемещения этого тела работа силы равна площади фигуры под этой зависимостью.

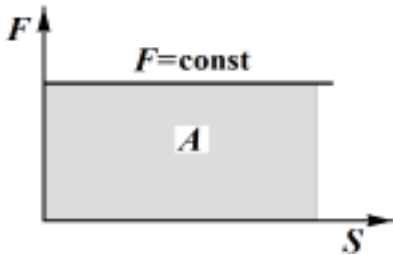


Рис. 6. Зависимость постоянной силы от времени

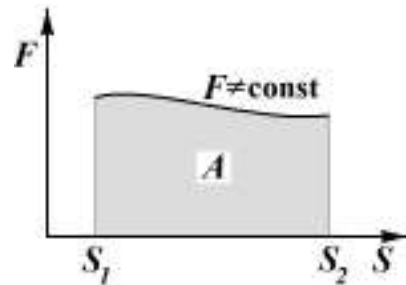


Рис. 7. Зависимости переменной во времени силы от перемещения

Работа силы тяжести по подъёму тела вертикально вверх, согласно формуле (20):

$$A = mgh \cos 180^\circ = -mgh = -\Delta E_{\text{П}}, \quad (22)$$

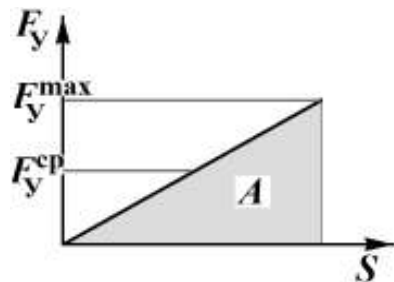
где mg – сила тяжести, направленная к поверхности Земли противоположно перемещению h ; $g \approx 10 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения у поверхности Земли. Работа определяется изменением потенциальной энергии тела, взятым с противоположным знаком.

Работа, затрачиваемая на упругую деформацию тела:

$$A = \frac{F_y}{2} \cdot S = \frac{kS}{2} \cdot S = \frac{kS^2}{2} = E_{\text{П}}, \quad (23)$$

где $F_y = kS$ – сила упругости линейной деформации тела на величину S ; k – коэффициент упругости. В формуле используется среднее значение силы упругости $F_y^{\text{CP}} = \frac{F_y}{2} = \frac{kS}{2}$, возрастающей линейно от нуля до максимального значения (рис. 8). Работа, затрачиваемая на деформацию упругих тел, переходит в потенциальную энергию $E_{\text{П}}$ этих тел.

Рис. 8. Линейная зависимость силы упругости от перемещения



Работа силы по ускорению (торможению) тела:

$$A = FS = maS = m \frac{V_2^2 - V_1^2}{2S} S = \frac{m(V_2^2 - V_1^2)}{2} = \frac{mV_2^2}{2} - \frac{mV_1^2}{2} = \Delta E_{\text{К}}, \quad (24)$$

где F – горизонтально направленная сила, под действием которой тело массой m движется с ускорением a ; V_1 и V_2 – начальное и конечное значения

мгновенных скоростей на участке S . Работа силы по ускорению (торможению) тела определяется изменением его кинетической энергии ΔE_k .

1.2.3. Мощность

Средняя мощность N_{CP} – физическая скалярная величина, равная работе в единицу времени:

$$N_{\text{CP}} = \frac{A}{t} = FV_{\text{CP}} \cdot \cos\alpha, \quad (25)$$

где F – модуль силы, действующей на тело; α – угол между векторами силы \vec{F} и перемещения \vec{S} , $V_{\text{CP}} = \frac{S}{t}$ – средняя скорость тела на участке S . Единица измерения мощности в системе единиц СИ – ватт: $[N] = 1 \text{ Дж/с} = 1 \text{ Вт}$.

Мгновенная мощность $N_{\text{МГН}}$ – мощность в данный момент времени:

$$N_{\text{МГН}} = FV_{\text{МГН}} \cdot \cos\alpha, \quad (26)$$

где F – модуль силы, действующей на тело в данный момент времени; $V_{\text{МГН}}$ – мгновенная скорость тела.

1.2.4. Коэффициент полезного действия

При работе каждой машины происходят потери мощности за счёт сил трения, сопротивления воздуха, нагревания и т.д., и машина потребляет большую энергию, чем отдаёт.

Коэффициент полезного действия (КПД) η определяется отношением энергии полезной $E_{\text{ЭФФ}}$ к энергии затраченной $E_{\text{ЗАТР}}$:

$$\eta = \frac{E_{\text{ЭФФ}}}{E_{\text{ЗАТР}}} . \quad (27)$$

Часто КПД выражают в процентах: $\text{КПД} = \frac{E_{\text{ЭФФ}}}{E_{\text{ЗАТР}}} \cdot 100\%$.

Вследствие неизбежных потерь КПД всегда меньше единицы: $\eta < 1$. При многократном превращении и передаче энергии общий КПД равен произведению КПД на всех ступенях преобразования энергии: $\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \dots$

1.2.5. Закон сохранения энергии

Согласно закону сохранения энергии (ЗСЭ), энергия не может исчезать бесследно и возникать из ничего.

ЗСЭ: полная энергия замкнутой системы (не отдающей и не получающей энергии извне) остаётся неизменной.

Консервативные силы — такие силы, работа которых по любой замкнутой траектории равна нулю. Это силы, работа которых не зависит от формы траектории (зависит только от начальной и конечной точки приложения сил).

Примерами *консервативных* сил являются сила тяжести, сила упругости. Примерами *неконсервативных* сил являются сила трения, сила сопротивления среды. Если внутри изолированной системы действуют только консервативные силы, то её полная механическая энергия сохраняется.

В замкнутой механической системе сумма механических видов энергии (потенциальной и кинетической энергии, включая энергию вращательного движения, если оно есть) остаётся неизменной:

$$E_{\text{П}} + E_{\text{К}} = E_{\text{МЕХ}} = \text{const}. \quad (28)$$

Если внутри системы будут действовать неконсервативные силы, то механическая энергия будет уменьшаться в результате её перехода в другие виды энергии:

$$E_{\text{П}} + E_{\text{К}} = E_{\text{МЕХ}} \neq \text{const.} \quad (29)$$

Примеры задач с решениями

1. Два неупругих шарика массами 3 кг и 5 кг движутся навстречу друг другу со скоростями 10 м/с и 5 м/с соответственно. Определите скорость и направление движения шариков после удара.

<i>Дано:</i>	<i>Решение:</i>
$m_1 = 3 \text{ кг}$ $m_2 = 5 \text{ кг}$ $V_1 = 10 \text{ м/с}$ $V_2 = 5 \text{ м/с}$	<p>На рис. 9 представлено движения шариков до и после удара. В результате неупругого удара тела будут двигаться как единое целое в сторону тела с большим по модулю первоначальным импульсом. В данном случае импульс больше у первого тела:</p> $P_1 = m_1 V_1 = 30 \text{ (кг·м/с)}, P_2 = m_2 V_2 = 25 \text{ (кг·м/с)}.$
$V = ?$	<p>Импульс системы тел до и после удара сохраняется:</p> $m_1 \vec{V}_1 + m_2 \vec{V}_2 = (m_1 + m_2) \vec{V}.$ <p>В проекциях на горизонтальную ось получим:</p> $m_1 V_1 - m_2 V_2 = (m_1 + m_2) V.$ <p>Выразим и вычислим искомую величину:</p> $V = \frac{m_1 V_1 - m_2 V_2}{m_1 + m_2} = \frac{3 \cdot 10 - 5 \cdot 5}{3 + 5} = 0,625 \text{ (м/с)}.$
	<p><i>Ответ:</i> $V = 0,625 \text{ м/с}.$</p>

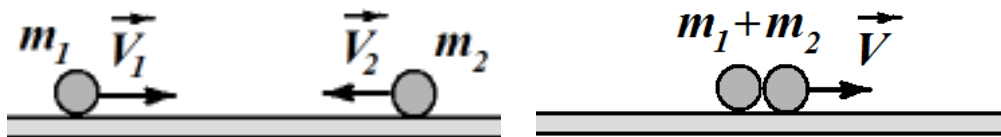


Рис. 9. Схематическое изображение движения тел до удара (слева) и сразу после неупругого удара (справа)

2. На горизонтальном участке пути длиной 1 км скорость поезда увеличилась с 36 км/ч до 54 км/ч. Определить работу и мощность развиваемую паровозом на этом участке, если масса поезда 900 т, а коэффициент трения равен 0.005.

Дано:	Решение:
$S=1000$ м $V_1 = 10$ м/с $V_2 = 15$ м/с $m=9 \cdot 10^5$ кг $\mu=0,005$	<p>Работа паровоза на участке длиной S, согласно формуле (20):</p> $A = F \cos 0^\circ = FS, \text{ где } F \text{ – сила тяги паровоза.}$ <p>Записав II закон Ньютона для сил, действующих на поезд, в проекциях на горизонтальную и вертикальную оси, получим систему уравнений:</p> $\begin{cases} F - F_{\text{тр}} = ma, \\ N - mg = 0. \end{cases}$
A –? N –?	<p>Решая систему уравнений с учётом того, что $F_{\text{тр}} = \mu N$, получим:</p> $F = m(a + \mu g).$ <p>Запишем выражение для работы с учётом кинематической формулы для ускорения:</p> $A = FS = m(a + \mu g)S = mS \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2S} + \mu g \right) = m \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + \mu g S \right).$ <p>Вычислим работу:</p> $A = 9 \cdot 10^5 \cdot \left(\frac{15^2 - 10^2}{2} + 0,005 \cdot 10 \cdot 1000 \right) = 10125 \text{ (МДж).}$

	<p>Средняя мощность, развиваемая паровозом на участке S: $N = \frac{A}{t}$.</p> <p>Выразим время из кинематических выражений:</p> $a = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2S} = \frac{V_2 - V_1}{t} \Rightarrow t = \frac{2S}{V_1 + V_2}.$ <p>Вычислим мощность:</p> $N = \frac{A}{t} = \frac{A \cdot (V_1 + V_2)}{2S} = \frac{101,25 \cdot 10^6 \cdot (10 + 15)}{2 \cdot 1000} = 1265,625 \cdot 10^3 \text{ (Вт)}.$
	<i>Ответ:</i> $A = 101,25$ МДж, $N \approx 1,3$ МВт.

3. Определите потенциальную и кинетическую энергии тела массой 50 г, брошенного вертикально вверх со скоростью 30 м/с, через две секунды после начала движения. Сопротивление воздуха пренебрежимо мало.

<i>Дано:</i>	<i>Решение:</i>
$m = 0,05$ кг, $V_0 = 30$ м/с, $t = 2$ с.	<p>Сопротивление воздуха не учитывается, следовательно, полная механическая энергия тела будет сохраняться:</p> $\frac{mV_0^2}{2} = E_K + E_{\Pi}.$
E_K –? E_{Π} –?	<p>Можно определить кинетическую или потенциальную энергию в момент времени 2 с. Определим кинетическую энергию:</p> $E_K = \frac{mV^2}{2} = \frac{m(V_0 - gt)^2}{2} = \frac{0,05 \cdot (30 - 10 \cdot 2)^2}{2} = 2,5 \text{ (Дж)}.$ <p>Потенциальная энергия в момент времени 2 с:</p> $E_{\Pi} = \frac{mV_0^2}{2} - E_K = \frac{0,05 \cdot 30^2}{2} - 2,5 = 20 \text{ (Дж)}.$
	<i>Ответ:</i> $E_K = 2,5$ Дж, $E_{\Pi} = 20$ Дж.

4. В тело массой 5 кг, висящее на нерастяжимой нити, попала пуля массой 10 г и застряла в нем. Найти скорость пули, если тело, отклонившись после удара, поднялось на высоту 10 см.

<i>Дано:</i>	<i>Решение:</i>
$M=5$ кг, $m=0,01$ кг, $h=10$ см.	<p>Происходящее в задаче можно разбить на три этапа:</p> <p>1) пуля массой m подлетает со скоростью V_m к кубу массой M (рис. 10a);</p> <p>2) куб вместе с пулей внутри общей массой $(m+M)$ начинает двигаться со скоростью V (рис. 10b);</p> <p>3) куб вместе с пулей внутри поднимается на высоту h и там останавливается (рис. 10c).</p> <p>Для этапов 1 и 2 записывается закон сохранения импульса, для этапов 2 и 3 – закон сохранения энергии (сопротивление воздуха пренебрежимо мало). Получим систему уравнений:</p> $\begin{cases} mV_m = (m + M)V, \\ \frac{(m + M)V^2}{2} = (m + M)gh. \end{cases}$ <p>Решая эти уравнения совместно, определим скорость пули:</p> $V_m = \frac{(m + M)V}{m} = \frac{(m + M)\sqrt{2gh}}{m} = \frac{(0,01 + 5)\sqrt{2 \cdot 10 \cdot 0,1}}{0,01} \approx 709 \text{ (м/с)}.$
	<p><i>Ответ:</i> $V_{II} \approx 709$ м/с.</p>

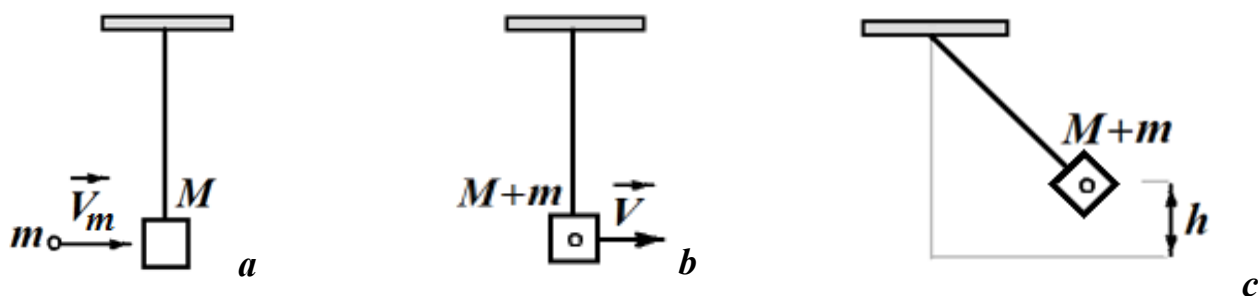
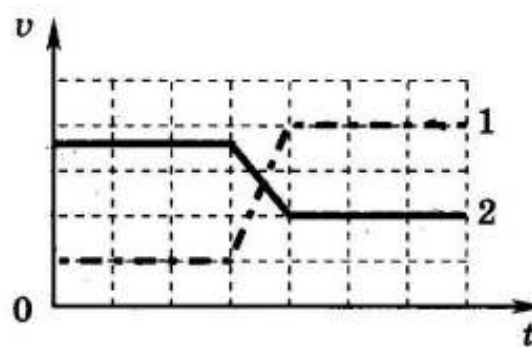


Рис. 10. Схематическое представление движения пули и куба до и после передачи импульса пули кубу и в момент максимального отклонения куба внутри с пулей

Задачи для самостоятельного решения

1. На рисунке изображены графики изменения скорости для двух взаимодействующих тележек разной массы (одна тележка догоняет и толкает другую). Какую информацию о тележках содержат эти графики?



- 1) тележка 1 едет сзади и имеет бóльшую массу
- 2) тележка 1 едет сзади и имеет мéньшую массу
- 3) тележка 2 едет сзади и имеет бóльшую массу
- 4) тележка 2 едет сзади и имеет мéньшую массу

2. Навстречу друг другу летят шарики из пластилина. Модули их импульсов равны соответственно $5 \cdot 10^{-2}$ кг·м/с и $3 \cdot 10^{-2}$ кг·м/с. Столкнувшись, шарики слипаются. Импульс слипшихся шариков равен

- 1) $8 \cdot 10^{-2}$ кг·м/с
- 2) $4 \cdot 10^{-2}$ кг·м/с
- 3) $2 \cdot 10^{-2}$ кг·м/с
- 4) $\sqrt{34} \cdot 10^{-2}$ кг·м/с

3. Сани после толчка движутся по горизонтальной дорожке. Как изменится импульс саней, если на них в течение 5 с действует сила трения о снег, равная 20 Н?

- 1) ответить невозможно, так как неизвестна масса саней
- 2) увеличится на 4 м/с
- 3) увеличится на 100 кг·м/с
- 4) уменьшится на 100 кг·м/с

4. Мяч массой m брошен вертикально вверх с начальной скоростью \vec{V} . Каково изменение импульса мяча за время от начала движения до возвращения в исходную точку, если сопротивление воздуха пренебрежимо мало?

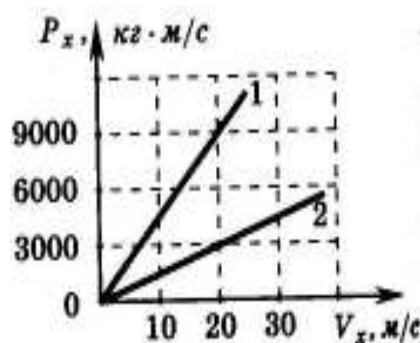
- 1) $m\vec{V}$
- 2) $-m\vec{V}$
- 3) $-2m\vec{V}$
- 4) 0

5. Два автомобиля движутся со скоростями V и $2V$ относительно Земли по одной прямой в противоположных направлениях. Определите модуль импульса второго автомобиля в системе отсчёта, связанной с первым автомобилем.

автомобилем.

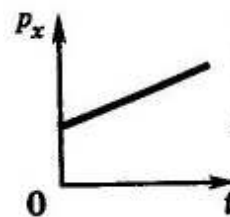
- 1) $3mV$
- 2) $2mV$
- 3) mV
- 4) 0

6. Два автомобиля движутся по прямолинейному участку шоссе. На рисунке изображены графики зависимостей импульсов этих автомобилей от скоростей. Определите импульс первого автомобиля в системе отсчёта, связанной со вторым автомобилем, в момент времени, когда их скорости относительно Земли равны 20 м/с.

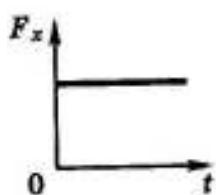


- 1) 0 кг·м/с
- 2) 20 кг·м/с
- 3) 40 кг·м/с
- 4) 60 кг·м/с

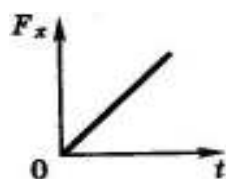
7. На графике приведена зависимость проекции импульса P_x тележки от времени. Какой вид имеет график изменения проекции равнодействующей всех сил F_x , действующих на тележку, от времени?



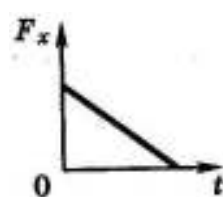
1)



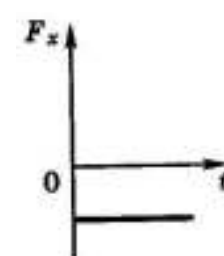
2)



3)



4)



8. Тело массой 2 кг движется по вдоль оси Ox . Его координата меняется в соответствии с уравнением $x=A+Bt+Ct^2$, где $A=4$ м, $B=3$ м/с, $C=5$ м/с². Определите импульс тела в момент времени $t=2$ с.

1) 86 кг·м/с

2) 48 кг·м/с

3) 46 кг·м/с

4) 26 кг·м/с

9. Тело движется по прямой. Под действием постоянной силы 5 Н импульс тела уменьшился с 25 кг·м/с до 15 кг·м/с. Для этого потребовалось

1) 1 с

2) 2 с

3) 3 с

4) 4 с

10. Тело движется по прямой. Начальный импульс тела 50 кг·м/с. Под действием постоянной силы 10 Н за 2 с импульс тела уменьшился до

1) 10 кг·м/с

2) 20 кг·м/с

3) 30 кг·м/с

4) 45 кг·м/с

11. Тело движется по прямой. Под действием постоянной силы 4 Н за 2 с импульс тела увеличился до 20 кг·м/с. Первоначальный импульс тела был равен

1) 4 кг·м/с

2) 8 кг·м/с

3) 12 кг·м/с

4) 28 кг·м/с

12. Тело движется по прямой. Под действием постоянной силы 2 Н за 3 с импульс тела увеличился до 15 кг·м/с. Первоначальный импульс тела был равен

- 1) 9 кг·м/с 2) 10 кг·м/с 3) 12 кг·м/с 4) 13 кг·м/с

13. Тело движется по прямой. Под действием постоянной силы за 3 с импульс тела изменился на 6 кг·м/с. Определите модуль силы.

- 1) 0,5 Н 2) 2 Н 3) 9 Н 4) 18 Н

14. Легковой автомобиль и грузовик движутся со скоростями $V_1=108$ км/ч и $V_2=54$ км/ч. Масса автомобиля $m=1000$ кг. Определите массу грузовика, если отношение импульса грузовика к импульсу автомобиля равно 1,5.

- 1) 4500 кг 2) 3000 кг 3) 1500 кг 4) 1000 кг

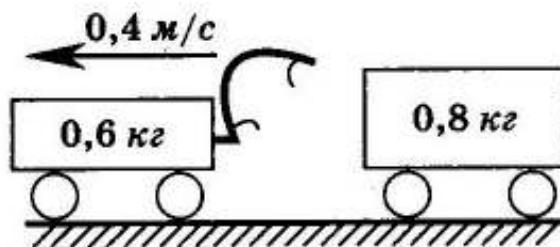
15. Отношение массы грузовика к массе легкового автомобиля $\frac{m_1}{m_2}$

равно 3. Определите отношение их скоростей $\frac{V_1}{V_2}$, если отношение импульса

грузовика к импульсу автомобиля равно 3.

- 1) 1 2) 2 3) 3 4) 5

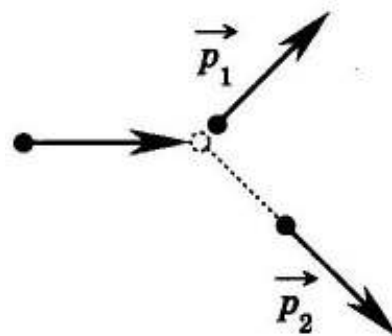
16. После пережигания нити пружина разжалась, толкнув обе тележки. Первая тележка, масса которой 0,6 кг, стала двигаться со скоростью 0,4 м/с (см. рисунок).



Определите модуль скорости второй тележки, если её масса 0,8 кг.

- 1) 0,2 м/с 2) 0,3 м/с
3) 0,4 м/с 4) 0,6 м/с

17. На неподвижный бильярдный шар налетает другой такой же. После удара шары разлетаются под углом 90° так, что импульс одного шара $p_1=0,3$ кг·м/с, а другого $p_2=0,4$ кг·м/с (см. рисунок). Налетевший шар имел до удара импульс, равный



- 1) $0,1$ кг·м/с 2) $0,5$ кг·м/с 3) $0,7$ кг·м/с 4) $0,25$ кг·м/с

18. Ракета, состоящая из двух ступеней, двигалась со скоростью $V_0=6$ км/с (рис. А). Масса первой ступени $m_1=1 \cdot 10^3$ кг, масса второй $m_2=2 \cdot 10^3$ кг. Первая ступень после отделения движется со скоростью $V_1=2$ км/с (рис. Б). Определите скорость второй ступени сразу после отделения первой ступени.

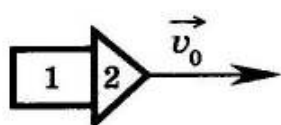


Рис. А

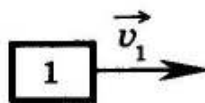
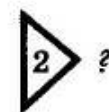


Рис. Б

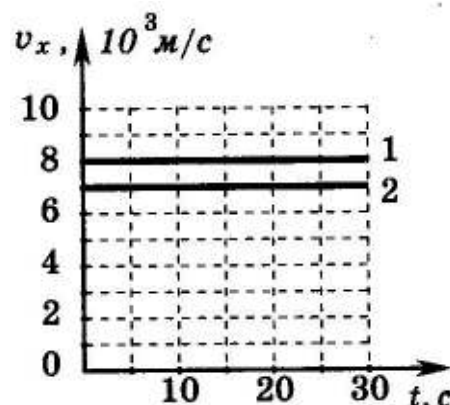


- 1) 2 км/с 2) 4 км/с 3) 6 км/с 4) 8 км/с

19. Если на вагонетку массой m , движущуюся по горизонтальным рельсам со скоростью V , сверху опустить груз, масса которого равна половине массы вагонетки, то скорость вагонетки с грузом станет равной

- 1) $\frac{2}{3}V$ 2) $\frac{3}{2}V$ 3) $\frac{V}{2}$ 4) $\frac{V}{4}$

20. На рисунке отображены графики скоростей двух космических аппаратов после их расстыковки. Масса первого из них равна 10 т, масса второго равна 15 т. Определите скорость аппаратов перед расстыковкой.



- 1) $2 \cdot 10^3$ м/с 2) $7,4 \cdot 10^3$ м/с
3) $1 \cdot 10^3$ м/с 4) $7,6 \cdot 10^3$ м/с

21. Две тележки движутся навстречу друг другу со скоростями V_1 и V_2 . Массы тележек равны соответственно m_1 и m_2 . Импульс первой тележки больше импульса второй. По какой из формул вычисляется скорость их совместного движения после абсолютно неупругого столкновения?

- 1) $\frac{m_1 V_1 + m_2 V_2}{m_1 + m_2}$ 2) $\frac{m_2 V_2 - m_1 V_1}{m_1 + m_2}$ 3) $\frac{m_1 V_1 - m_2 V_2}{m_1 + m_2}$ 4) $\frac{m_1 V_1 + m_2 V_2}{m_1 - m_2}$

22. Два шара массами m и $2m$ движутся друг за другом со скоростями, равными соответственно $2V$ и V . Первый шар догоняет второй и прилипает к нему. Определите импульс шаров после удара.

- 1) mV 2) $2mV$ 3) $3mV$ 4) $4mV$

23. С неподвижной лодки массой 50 кг на берег прыгнул мальчик массой 40 кг со скоростью 1 м/с, направленной горизонтально. Какую скорость приобрела лодка относительно берега?

- 1) 1 м/с 2) 0,8 м/с 3) 1,25 м/с 4) 0 м/с

24. Две тележки движутся вдоль одной прямой в одном направлении. Массы тележек m и $2m$, скорости соответственно $2V$ и V . Какой будет их скорость после абсолютно неупругого столкновения?

29. Пластилиновый шарик массой m , движущийся со скоростью V , налетает на покоящийся пластилиновый шарик массой $2m$. Определите скорость совместного движения шаров после удара.

- 1) $\frac{V}{3}$ 2) $\frac{2}{3}V$ 3) $\frac{V}{2}$ 4) $2V$

30. Сани с охотником покоятся на очень гладком льду. Охотник стреляет из ружья в горизонтальном направлении. Масса заряда 0,03 кг. Скорость саней сразу после выстрела составила 0,15 м/с. Общая масса охотника, ружья и саней равна 120 кг. Определите скорость заряда при его вылете из ружья.

- 1) 1200 м/с 2) 4 м/с 3) 240 м/с 4) 600 м/с

31. Груз массой 200 г падает со скоростью 10 м/с на неподвижную платформу под углом 45° к ней. Определите импульс платформы с грузом сразу после абсолютно неупругого удара груза о платформу. Платформа скользит по горизонтальной поверхности без трения.

- 1) 0 кг·м/с 2) 2 кг·м/с 3) $\sqrt{2}$ кг·м/с 4) $2\sqrt{2}$ кг·м/с

32. С тележки, движущейся без трения по горизонтальной поверхности, сброшен груз с некоторой скоростью в направлении, противоположном движению тележки. В результате скорость тележки

- 1) уменьшилась
 2) возросла
 3) не изменилась
 4) уменьшилась или возросла в зависимости от того, что больше – масса тележки или масса груза

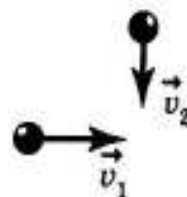
33. При произвольном делении покоящегося ядра химического элемента образовалось три осколка массами $3m$; $4,5m$; $5m$. Скорости первых двух взаимно

перпендикулярны, а их модули равны соответственно $4V$ и $2V$. Определите модуль скорости третьего осколка.

- 1) V 2) $2V$ 3) $3V$ 4) $6V$

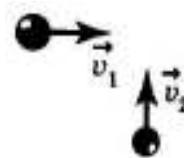
34. Шары одинаковой массы движутся так, как показано на рисунке, и абсолютно неупруго соударяются.

Как будет направлен импульс шаров после соударения?



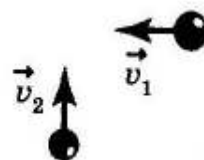
- 1)  2)  3)  4) 

35. Шары движутся со скоростями, показанными на рисунке, и при столкновении слипаются. Как будет направлен импульс шаров после столкновения?



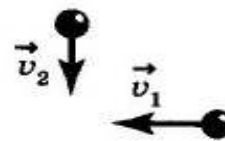
- 1)  2)  3)  4) 

36. Шары движутся со скоростями, показанными на рисунке, и при столкновении слипаются. Как будет направлен импульс шаров после столкновения?



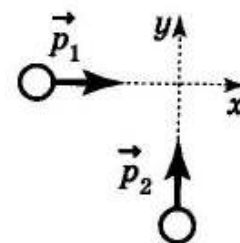
- 1)  2)  3)  4) 

37. Шары движутся со скоростями, показанными на рисунке, и при столкновении слипаются. Как будет направлен импульс шаров после столкновения?



- 1)  2)  3)  4) 

38. По гладкой горизонтальной плоскости по осям x и y движутся две шайбы с импульсами, равными по модулю $p_1=2$ кг·м/с и $p_2=3,5$ кг·м/с, как показано на рисунке. После соударения вторая шайба продолжает двигаться по оси y в прежнем направлении с импульсом, равным по модулю $p_3=2$ кг·м/с. Найдите модуль импульса первой шайбы после удара.



- 1) 2 кг·м/с 2) 2,5 кг·м/с 3) 3,5 кг·м/с 4) 4 кг·м/с

39. Охотник массой 60 кг, стоящий на гладком льду, стреляет из ружья в горизонтальном направлении. Масса заряда 0,03 кг. Скорость дробинок при выстреле 300 м/с. Определите скорость охотника сразу после выстрела.

- 1) 1200 м/с 2) 4 м/с 3) 240 м/с 4) 600 м/с

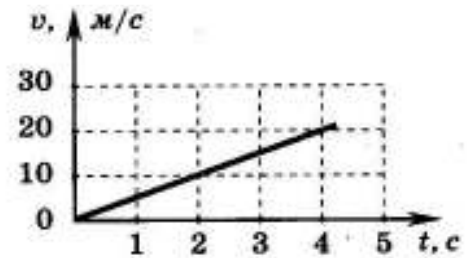
40. Две тележки движутся навстречу друг другу с одинаковыми по модулю скоростями V . Массы тележек t и $2t$. Какой будет скорость тележек после абсолютно неупругого столкновения?

- 1) $\frac{3}{2}V$ 2) $\frac{2}{3}V$ 3) $3V$ 4) $\frac{V}{3}$

55. Хоккейная шайба массой 160 г летит со скоростью 10 м/с. Определите её кинетическую энергию.

- 1) 1,6 Дж 2) 16 Дж 3) 0,86 Дж 4) 8 Дж

56. На рисунке представлен график зависимости грузовика массой 10^3 кг от времени. Импульс p и кинетическая энергия E грузовика относительно земли в момент времени $t=2$ с равны



- 1) $p=10^4$ кг·м/с; $E=5 \cdot 10^4$ Дж 2) $p=10^4$ кг·м/с; $E=6 \cdot 10^4$ Дж
3) $p=5 \cdot 10^4$ кг·м/с; $E=5 \cdot 10^4$ Дж 4) $p=10^4$ кг·м/с; $E=10^4$ Дж

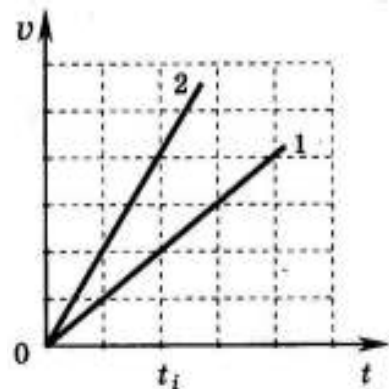
57. Для того чтобы уменьшить кинетическую энергию тела в 2 раза, надо скорость тела уменьшить в

- 1) 2 раза 2) $\sqrt{2}$ раз 3) 4 раза 4) $\frac{\sqrt{2}}{2}$ раз

58. Автомобиль массой 10^3 кг движется по мосту. Скорость автомобиля 10 м/с. Кинетическая энергия автомобиля равна

- 1) 10^5 Дж 2) 10^4 Дж 3) $5 \cdot 10^4$ Дж 4) $5 \cdot 10^3$ Дж

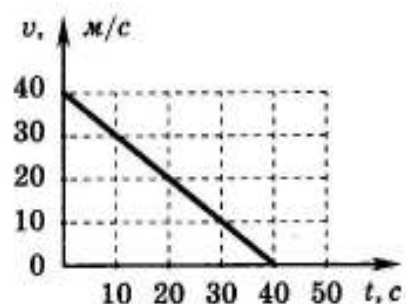
59. Масса первого и второго автомобилей равны 1000 кг и 500 кг соответственно. Скорости их движения изменяются с течением времени в соответствии с графиками, представленными на рисунке. Отношение E_{K2}/E_{K1} кинетических



энергий автомобилей в момент времени t_i равно

- 1) $\frac{1}{4}$ 2) 4 3) $\frac{1}{2}$ 4) 2

60. Скорость автомобиля при торможении изменяется с течением времени в соответствии с графиком, представленным на рисунке. Как изменилась кинетическая энергия автомобиля за первые 20 с торможения?



- 1) уменьшилась в 2 раза 2) увеличилась в 4 раза
3) уменьшилась в 4 раза 4) не изменилась

61. Недеформированную пружину жёсткостью 30 Н/м растянули на 0,04 м. Потенциальная энергия растянутой пружины равна

- 1) 750 Дж 2) 1,2 Дж 3) 0,6 Дж 4) 0,024 Дж

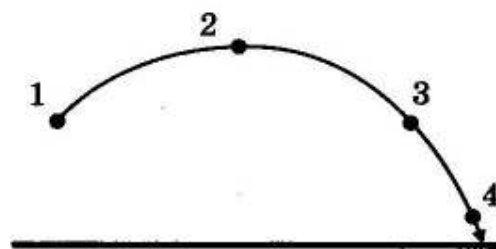
62. Спортсмен поднял штангу массой 75 кг на высоту 2 м. Потенциальная энергия штанги при этом изменилась на

- 1) 150 Дж 2) 300 Дж 3) 1500 Дж 4) 37,5 Дж

63. Потенциальная энергия взаимодействия с Землёй гири массой 5 кг увеличилась на 75 Дж. Это произошло в результате того, что гирю

- 1) подняли на 7 м 2) опустили на 7 м
3) подняли на 1,5 м 4) опустили на 1,5 м

68. На рисунке представлена траектория движения тела, брошенного под углом к горизонту. Определите, в какой из четырёх точек, отмеченных на траектории, потенциальная энергия имеет минимальное значение.



- 1) 1 2) 3) 3 4) 4

69. Шарик массой m движется со скоростью V . После упругого соударения со стенкой он стал двигаться в противоположном направлении. Определите работу силы упругости, действовавшей на шарик со стороны стенки.

- 1) $\frac{mV^2}{2}$ 2) mV^2 3) $\frac{mV^2}{4}$ 4) 0

70. Шар массой 200 г падает с начальной скоростью 10 м/с на неподвижную, горизонтально расположенную платформу, под углом 45° к ней. Модуль изменения импульса шара в результате абсолютно упругого удара шара о платформу равен

- 1) 0 кг·м/с 2) 0 кг·м/с 3) 4 кг·м/с 4) $2\sqrt{2}$ кг·м/с

71. Шарик массой 100 г, движущийся со скоростью 1 м/с, абсолютно упруго ударяется о горизонтальную плоскость. Направление скорости шарика составляет с плоскостью угол 30° . Определите модуль изменения импульса шарика в результате удара.

- 1) 0,3 кг·м/с 2) 0,2 кг·м/с 3) 0,17 кг·м/с 4) 0,1 кг·м/с

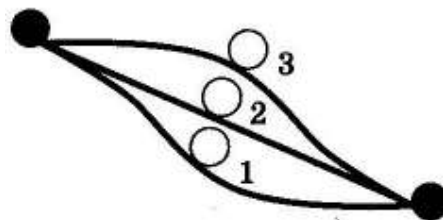
72. Работа равнодействующей всех сил, действующих на материальную точку, при изменении модуля её скорости от V_1 до V_2 равна

- 1) $\frac{mV_2^2}{2} - \frac{mV_1^2}{2}$ 2) $mV_2 - mV_1$ 3) $\frac{mV_2^2}{2} + \frac{mV_1^2}{2}$ 4) $mV_2 + mV_1$

73. Скорость автомобиля массой 10^3 кг изменилась от 10 м/с до 20 м/с. Работа равнодействующей всех сил равна

- 1) $1,5 \cdot 10^5$ Дж 2) $2 \cdot 10^5$ Дж 3) $2,5 \cdot 10^5$ Дж 4) $3 \cdot 10^5$ Дж

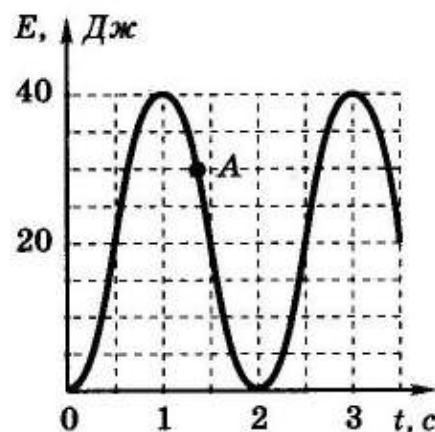
74. Шарик скатывали с горки по трём разным желобам. В начале пути скорости шарика одинаковы. В каком случае скорость шарика в конце пути наибольшая? Трение не учитывалось.



- 1) в первом
2) во втором
3) в третьем
4) во всех трёх случаях скорость одинакова

75. На рисунке представлен график кинетической энергии человека на качелях. В момент времени, соответствующий точке А на графике, его потенциальная энергия равна

- 1) 10 Дж
2) 20 Дж
3) 25 Дж
4) 30 Дж



76. Шарик брошен вертикально вверх. В момент броска он имел кинетическую энергию 30 Дж. На сколько изменится потенциальная энергия шарика в поле тяготения Земли, когда он окажется в верхней точке траектории полёта? Сопротивление воздуха пренебрежимо мало.

- 1) 0 Дж 2) 15 Дж 3) 30 Дж 4) 60 Дж

77. Тело массой 1 кг, брошенное с уровня земли вертикально вверх, упало обратно. Перед ударом на землю оно имело кинетическую энергию 200 Дж. С какой скоростью тело было брошено вверх? Сопротивление воздуха пренебрежимо мало.

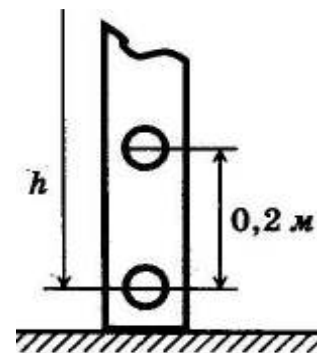
- 1) 10 м/с 2) 20 м/с 3) 30 м/с 4) 40 м/с

78. Тело массой 1 кг, брошенное с уровня земли вертикально вверх от поверхности земли, достигло максимальной высоты 20 м. С какой по модулю скоростью тело двигалось на высоте 10 м? Сопротивление воздуха пренебрежимо мало.

- 1) 7 м/с 2) 10 м/с 3) 14,1 м/с 4) 20 м/с

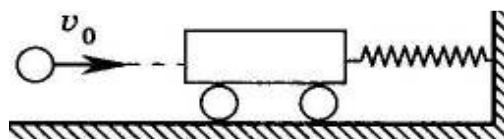
79. На рисунке показаны положения свободно падающего шарика через интервал времени $\frac{1}{30}$ с. Масса шарика 0,1 кг. Оцените, пользуясь законом сохранения энергии, высоту, с которой упал шарик.

- 1) 1,0 м 2) 1,4 м 3) 1,6 м 4) 1,8 м



83. Пластилиновый шар массой 0,1 кг со скоростью 1 м/с налетает на неподвижную тележку массой 0,1 кг, прикрепленную пружиной, и прилипает к ней (см. рисунок). Определите полную механическую энергию системы при её дальнейших колебаниях. Трение пренебрежимо мало.

- 1) 0,025 Дж 2) 0,05 Дж
3) 0,5 Дж 4) 0,1 Дж



84. Неподвижный грузик, подвешенный к пружине, растягивает её на 2 см. Если грузик приподнять, так чтобы растяжение исчезло, затем отпустить, то, при дальнейших колебаниях, максимальное растяжение пружины составит

- 1) 1 см 2) 2 см 3) 3 см 4) 4 см

85. Снаряд массой 200 г, выпущенный под углом 30° к горизонту, поднялся на высоту 4 м. Определите кинетическую энергию снаряда непосредственно перед касанием земли. Сопротивление воздуха пренебрежимо мало.

- 1) 4 Дж 2) 8 Дж 3) 32 Дж
4) нельзя ответить на вопрос задачи, так как неизвестна начальная скорость снаряда.

86. Вагон, движущийся по горизонтальному пути с небольшой скоростью, сталкивается с другим вагоном и останавливается. При этом пружина буфера сжимается. Какое из ниже перечисленных преобразований энергии происходит в этом процессе?

- 1) кинетическая энергия вагона преобразуется в потенциальную энергию пружины
2) кинетическая энергия вагона преобразуется в его потенциальную энергию
3) кинетическая энергия пружины преобразуется в её потенциальную энергию

4) внутренняя энергия пружины преобразуется в кинетическую энергию вагона

87. Парашютист спускается с неизменной скоростью, а энергия его взаимодействия с землёй постепенно уменьшается. При спуске парашютиста

1) его потенциальная энергия полностью преобразуется в кинетическую энергию

2) его механическая энергия не меняется

3) его потенциальная энергия полностью преобразуется во внутреннюю энергию парашютиста и воздуха

4) его кинетическая энергия преобразуется в потенциальную

88. Санки массой m тянут в гору с постоянной скоростью. На высоте h относительно первоначального положения их полная механическая энергия

1) не изменится

2) увеличится на mgh

3) будет неизвестна, так как не задан наклон горы

4) будет неизвестна, так как не задан коэффициент трения

89. Камень массой 1 кг брошен вертикально вверх. В начальный момент его энергия равна 200 Дж. Определите максимальную высоту, на которую поднимется камень. Сопротивление воздуха пренебрежимо мало.

1) 10 м

2) 200 м

3) 20 м

4) 2 м

90. После удара клюшкой шайба стала скользить вверх по ледяной горке и у её вершины имела скорость 5 м/с. Высота горки 10 м. Определите скорость шайбы сразу после удара, если трение шайбы о лёд пренебрежимо мало.

1) 7,5 м/с

2) 15 м/с

3) 12,5 м/с

4) 10 м/с

91. Закреплённый пружинный пистолет стреляет вертикально вверх. Определите величину деформации пружины Δl перед выстрелом, если жёсткость пружины k , а пуля массой m поднялась на высоту h . Трение пренебрежимо мало.

1) $2\sqrt{\frac{mgh}{k}}$ 2) $\sqrt{\frac{mgh}{2k}}$ 3) $\sqrt{\frac{mgh}{k}}$ 4) $\sqrt{\frac{2mgh}{k}}$

92. Закреплённый пружинный пистолет стреляет вертикально вверх. Деформации пружины перед выстрелом Δl , жёсткость пружины k , пуля поднялась на высоту h . Определите массу пули. Трение и масса пружины пренебрежимо малы, $\Delta l \ll h$.

1) $\frac{k(\Delta l)^2}{4gh}$ 2) $\frac{k(\Delta l)^2}{gh}$ 3) $\frac{2k(\Delta l)^2}{gh}$ 4) $\frac{k(\Delta l)^2}{2gh}$

93. Груз массой m тянут за нить по горизонтальной шероховатой поверхности. Определите расстояние, на которое переместится груз после обрыва нити, если его скорость в момент обрыва равна V , а коэффициент трения груза о поверхность равен μ . Сопротивление воздуха пренебрежимо мало.

1) $\frac{2V^2}{\mu g}$ 2) $\frac{V^2}{\mu g}$ 3) $\frac{V^2}{2\mu g}$ 4) $\frac{4V^2}{\mu g}$

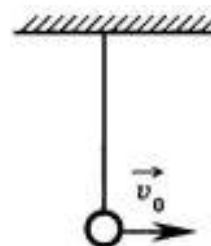
94. Скорость брошенного мяча непосредственно перед ударом о стену была вдвое больше его скорости сразу после удара. Определите количество теплоты, выделившееся при ударе, если перед ударом кинетическая энергия мяча была равна 20 Дж.

1) 5 Дж 2) 10 Дж 3) 15 Дж 4) 17,5 Дж

95. Скорость брошенного мяча непосредственно перед ударом о стену была вдвое больше его скорости сразу после удара. Определите кинетическую энергию мяча, если количество теплоты, выделившееся при ударе, было равно 15 Дж.

- 1) 15 Дж 2) 20 Дж 3) 30 Дж 4) 45 Дж

96. Шарику на нити, находящемуся в положении равновесия, сообщили небольшую горизонтальную скорость V_0 (см. рисунок). Определите, на какую высоту поднимется шарик.



- 1) $\frac{V_0^2}{2g}$ 2) $\frac{2V_0^2}{g}$ 3) $\frac{V_0^2}{4g}$ 4) $\frac{2g}{V_0^2}$

97. Сани с седуками общей массой 100 кг съезжают с горы высотой 8 м и длиной 100 м. Начальная скорость саней равна нулю, конечная – 10 м/с. Определите среднюю силу сопротивления движению саней.

98. Тело массой 1 кг бросили с поверхности Земли со скоростью 20 м/с под углом 45° к горизонту. Определите работу силы тяжести, действующей на тело за время полёта тела. Сопротивление воздуха пренебрежимо мало.

99. Груз массой 0,1 кг привязали к нити длиной 1 м. Нить с грузом отвели от вертикали на угол 90° и отпустили. Определите центростремительное ускорение груза в момент, когда нить образует с вертикалью угол 60° . Сопротивление воздуха пренебрежимо мало.

100. При выстреле из пружинного пистолета вертикально вверх шарик массой 100 г поднимается на высоту 2 м. Определите жёсткость пружины, если

до выстрела она была сжата на 5 см. Сопротивление воздуха пренебрежимо мало.

101. Тело массой 0,1 кг брошено под углом 30° со скоростью 4 м/с. Определите потенциальную энергию тела относительно поверхности Земли в высшей точке его подъёма. Сопротивление воздуха пренебрежимо мало.

102. Санки общей массой 60 кг скатываются с ледяной горки и останавливаются, проехав 40 м по горизонтальной поверхности после спуска. Определите высоту горы, если сила сопротивления движению санок на горизонтальном участке была равна 60 Н. По склону горы сани скользили с пренебрежимо малым трением.

103. Лыжник массой 60 кг спустился с горы высотой 20 м. Определите силу сопротивления движению лыжника по горизонтальной лыжне после спуска, если он останавливается, проехав 200 м. По склону горы лыжник скользил с пренебрежимо малым трением.

104. Груз массой 100 кг свободно падает с высоты 10 м без начальной скорости. Определите потенциальную энергию груза относительно поверхности Земли в момент времени, когда его скорость была равна 8 м/с.

105. Тело массой 0,1 кг брошено горизонтально со скоростью 4 м/с с высоты 2 м относительно поверхности Земли. Определите кинетическую энергию груза в момент его приземления. Сопротивление воздуха пренебрежимо мало.

106. Груз массой 100 г свободно падает с высоты 10 м с нулевой начальной скоростью. Определите кинетическую энергию груза на высоте 6 м.

107. Автомобиль массой 1000 кг подъезжает со скоростью 20 м/с к подъёму высотой 5 м. В конце подъёма его скорость уменьшается до 6 м/с. Определите модуль изменения механической энергии автомобиля. Ответ выразите в килоджоулях (кДж).

108. Шарик скользит без трения по наклонному желобу, а затем по «мёртвой петле» радиуса R . Рассчитайте силу давления шарика на желоб в верхней точке петли, если масса шарика 100 г, а высота, с которой его отпускают, равна $4R$.

109. Санки скатываются с ледяной горки высотой 10 м и останавливаются, проехав 50 м по горизонтальной поверхности после спуска. Сила трения санок при их движении по горизонтальному участку равна 80 Н. Определите массу санок. По склону горы сани скользили с пренебрежимо малым трением.

110. Санки массой 50 кг скатываются с ледяной горки высотой 10 м и останавливаются, проехав 30 м по горизонтальной поверхности после спуска. Коэффициент трения санок при их движении по горизонтальному участку равен 0,2. Определите высоту горы. По склону горы сани скользили с пренебрежимо малым трением.

111. Первоначальное удлинение пружины равно Δl . Как изменится потенциальная энергия пружины, если её удлинение станет вдвое больше?

1) увеличится в 2 раза

2) увеличится в 4 раза

3) уменьшится в 2 раза

4) уменьшится в 4 раза

112. Первоначальное удлинение пружины равно l . Как изменится потенциальная энергия пружины, если её удлинение станет вдвое меньше?

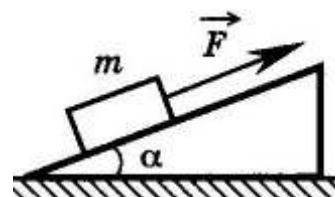
1) увеличится в 2 раза

2) увеличится в 4 раза

3) уменьшится в 2 раза

4) уменьшится в 4 раза

113. Коэффициент полезного действия наклонной плоскости 80 %. Угол наклона плоскости к горизонту 30° (см. рисунок). Определите величину силы, параллельной плоскости, с которой можно тащить вверх ящик массой 120 кг.



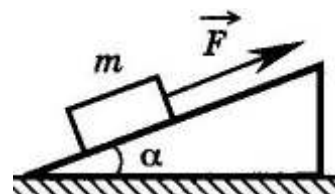
1) 480 Н

2) 600 Н

3) 750 Н

4) 1040 Н

114. Угол наклона плоскости к горизонту 30° (см. рисунок). Вверх по наклонной плоскости втаскивают ящик массой 90 кг, прикладывая силу 600 Н, параллельную наклонной плоскости. Определите коэффициент полезного действия наклонной плоскости.



1) 67%

2) 75%

3) 80%

4) 100%

115. Автомобиль, двигаясь с выключенным двигателем, на горизонтальном участке дороги имеет скорость 20 м/с. Определите, какое расстояние он проедет до полной остановки по склону горы под углом 30° к горизонту. Трение пренебрежимо мало.

1) 10 м

2) 20 м

3) 80 м

4) 40 м

116. Автомобиль, двигаясь с выключенным двигателем, на горизонтальном участке дороги имеет скорость 20 м/с. Определите, на какую высоту он поднимется по склону горы под углом 30° к горизонту. Трение пренебрежимо мало.

- 1) 10 м 2) 20 м 3) 80 м 4) 40 м

117. Автомобиль, двигаясь с выключенным двигателем на горизонтальном участке дороги со скоростью 30 м/с, начал подниматься вверх по склону горы под углом 30° к горизонту. Определите, какой путь должен пройти автомобиль вдоль склона горы, чтобы его скорость уменьшилась до 20 м/с. Трение пренебрежимо мало.

- 1) 12,5 м 2) 25 м 3) 50 м 4) 100 м

118. Лыжник массой 60 кг спустился с горы высотой 20 м. Определите силу сопротивления его движению по горизонтальной лыжне после спуска, если он остановился, проехав 200 м. По склону горы лыжник скользил с пренебрежимо малым трением.

119. Определите кинетическую энергию груза массой 100 г на высоте 6 м. Груз свободно падает с высоты 10 м с нулевой начальной скоростью.

120. Автомобиль массой 1000 кг подъезжает со скоростью 20 м/с с выключенным двигателем к подъёму высотой 5 м. В конце подъёма его скорость уменьшается до 6 м/с. Определите модуль изменения механической энергии автомобиля. Ответ выразите в килоджоулях (кДж).

ОТВЕТЫ К ЗАДАЧАМ ПО ТЕМАМ: «ИМПУЛЬС» И «ЭНЕРГИЯ».

№	<i>ответ</i>	№	<i>ответ</i>	№	<i>ответ</i>	№	<i>ответ</i>	№	<i>ответ</i>
1	3	25	4	49	1	73	1	97	30
2	3	26	2	50	3	74	4	98	0
3	4	27	2	51	4	75	1	99	10
4	3	28	4	52	4	76	3	100	1600
5	1	29	1	53	2	77	2	101	0,2
6	1	30	4	54	1	78	3	102	4
7	1	31	3	55	4	79	4	103	60
8	3	32	2	56	1	80	2	104	6,8
9	2	33	3	57	2	81	2	105	2,8
10	3	34	1	58	3	82	3	106	4
11	3	35	1	59	4	83	1	107	132
12	1	36	3	60	3	84	4	108	3
13	2	37	1	61	4	85	3	109	40
14	2	38	2	62	3	86	1	110	6
15	1	39	2	63	3	87	3	111	2
16	2	40	4	64	2	88	2	112	4
17	2	41	1	65	1	89	3	113	3
18	4	42	1	66	4	90	2	114	2
19	1	43	1	67	2	91	4	115	4
20	2	44	1	68	4	92	4	116	2
21	3	45	1	69	4	93	3	117	3
22	4	46	2	70	4	94	3	118	60
23	2	47	2	71	4	95	2	119	4
24	1	48	2	72	1	96	1	120	132

1.3. Силы тяжести

1.3.1. Гравитация

Гравитационное взаимодействие между телами осуществляется посредством *гравитационного поля*. Гравитация, или тяготение, между телами обусловлено их массой. Каждое тело создаёт вокруг себя силовое поле – поле тяготения, гравитационное поле.

Напряжённость гравитационного поля \vec{G} – его силовая характеристика, в данной точке пространства равная ускорению свободного падения \vec{g} пробного тела, помещённого в данную точку гравитационного поля источника этого поля:

$$\vec{G}(r) = \vec{g}(r). \quad (30)$$

Формула (30) справедлива для любого тела с учётом изменения ускорения свободного падения, связанного с массой источника гравитационного поля.

По своему физическому смыслу напряжённость гравитационного поля и ускорение свободного падения совершенно разные физические величины. Напряжённость поля характеризует состояние пространства в данной точке, а сила и ускорение, вследствие действия силы, появляются только тогда, когда в данной точке находится пробное тело.

1.3.2. Закон Всемирного тяготения

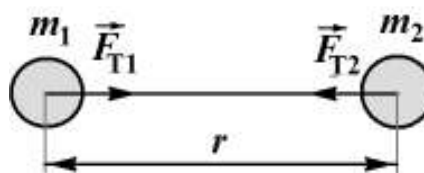
Закон Всемирного тяготения: между двумя материальными точками действуют силы взаимного притяжения (силы тяготения, гравитационные

силы), направленные вдоль линии, соединяющей центры взаимодействующих тел (центральные силы). Модуль силы тяготения:

$$F_T = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad (31)$$

где $\gamma \approx 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н/кг}\cdot\text{м}^2$ – гравитационная постоянная; m_1 и m_2 – массы взаимодействующих тел; r – расстояние между ними. На рис. 11 силы взаимодействия тел F_{T1} и F_{T2} равны по модулю и определяются по формуле (31).

Рис. 11. Схематическое представление гравитационного взаимодействия двух тел массами m_1 и m_2 , находящихся на расстоянии r



По формуле (32) определяется сила земного притяжения тела массой m , находящегося на расстоянии r от центра Земли ($r \geq$ радиусу Земли R_3):

$$F_T = \gamma \frac{M_3 m}{r^2}, \quad (32)$$

где M_3 – масса Земли. Формула (32) справедлива и для других небесных тел с учётом замены массы Земли на соответствующую величину.

У поверхности Земли на тело действует сила тяжести mg , равная силе тяготения F_T :

$$mg = \gamma \frac{M_3 m}{R_3^2}, \quad (33)$$

Согласно (33) ускорение свободного падения у поверхности Земли определяется по формуле:

$$g = \gamma \frac{M_3}{R_3^2}. \quad (34)$$

Аналогично определяется ускорение свободного падения на расстоянии r от центра Земли $g(r)$:

$$g(r) = \gamma \frac{M_3}{r^2}. \quad (35)$$

Из (34) и (35) получаем связь между ускорениями свободного падения у поверхности Земли и на некоторой высоте h над её поверхностью:

$$g(r) = g \frac{R_3^2}{r^2} = g \left(\frac{R_3}{r} \right)^2, \quad (36)$$

где $r = R_3 + h$.

Так как ускорение свободного падения, действующее на тело, помещённое в данную точку гравитационного поля, совпадает по направлению и модулю с напряжённостью гравитационного поля \vec{G} источника поля в данной точке (см. 30), то согласно (35):

$$G = \gamma \frac{M}{r^2}. \quad (37)$$

На тело, движущееся по круговой орбите планеты, действует центростремительная сила, равная силе тяготения. Например, для спутника, обращающегося на высоте h вокруг Земли, можно записать:

$$F_T = F_{\text{ЦС}},$$

$$\gamma \frac{mM_3}{(R_3 + h)^2} = ma_{\text{ЦС}},$$

$$\gamma \frac{M_3}{(R_3 + h)^2} = \frac{V^2}{R_3 + h}.$$

Из последнего выражения получаем скорость обращения спутника Земли:

$$V = \sqrt{\gamma \frac{M_3}{R_3 + h}} \quad (38)$$

1.3.3. Космические скорости

Минимальная скорость спутника, выведенного на круговую орбиту планеты, называется *первой космической скоростью*. Высота орбиты много меньше радиуса планеты.

Пренебрегая в (38) высотой h , малой по сравнению с радиусом Земли R_3 , получим первую космическую скорость спутника Земли:

$$V_1 = \sqrt{\gamma \frac{M_3}{R_3 + h}} \approx \sqrt{\gamma \frac{M_3}{R_3}} = \sqrt{\gamma \frac{M_3}{R_3^2} \cdot R_3} = \sqrt{gR_3} \approx 7,9 \text{ (км/с)}.$$

Вторая космическая скорость – минимальная скорость, необходимая спутнику для покидания круговой орбиты небесного тела и выхода на околосолнечную орбиту.

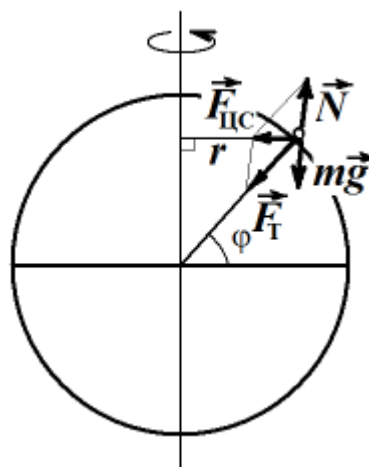
Например, для Земли вторая космическая скорость равна:

$$V_{II} = \sqrt{2gR_3} \approx 11,2 \text{ (км/с)}.$$

1.3.4. Сила тяжести и сила тяготения, действующие на тело, покоящееся на поверхности планеты

Если тело находится на поверхности планеты, например Земли, то сила тяжести $m\vec{g}$ и сила тяготения \vec{F}_T , действующие на это тело, совпадают, только если тело поместить в один из полюсов земной поверхности. В этом случае на тело не действует центростремительная сила. Направление силы реакции опоры \vec{N} определяется притяжением и вращением Земли. Сила тяжести $m\vec{g}$ направлена противоположно силе реакции опоры \vec{N} и равна ей по модулю.

Рис. 12. Схематическое представление тела, находящегося на широте φ поверхности Земли, с указанием сил, действующих на него



На рис. 12 указаны силы, действующие на тело, помещённое в некоторую точку поверхности Земли. С учётом вращения Земли тело движется по окружности радиуса r и на тело действует центростремительная сила $F_{цс}$. На

рис. 12 видно, что силы тяжести и тяготения связаны соотношением:
 $mg = N = F_T \cdot \sin \varphi$.

1.3.5. Вес тела

Вес тела \vec{P} – это сила, с которой тело, вследствие притяжения к Земле, действует на горизонтальную опору или вертикальный подвес, удерживающие его от свободного падения. Вес приложен к опоре или подвесу и направлен к поверхности Земли. Если опора или подвес неподвижны или движутся равномерно и прямолинейно относительно Земли, то $\vec{P} = m\vec{g}$.

По III закону Ньютона: $\vec{P} = -\vec{N}$. При движении тела вертикально вверх $N - mg = ma \Rightarrow N = m(g + a)$ и $P > mg$ – тело испытывает состояние *перегрузки*. При движении вертикально вниз $N - mg = -ma \Rightarrow N = m(g - a)$ и $P < mg$, а если $P = mg$, то тело испытывает состояние *невесомости*.

1.4. Силы упругости

Силы служат либо причиной ускорения тела (динамическое действие), либо причиной изменения его формы (статическое действие).

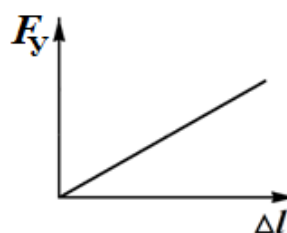
Силы упругости – это силы упругой деформации (\vec{N} , \vec{T} , \vec{F}_y). Это *потенциальные* силы (их работа на замкнутой траектории равна нулю).

В пределах упругости вещества (после снятия нагрузки тело принимает первоначальную форму) сила и деформация пропорциональны друг другу (рис. 13). В этом случае справедлив *закон Гука*.

Закон Гука: для одномерного упругого растяжения (сжатия) сила упругости пропорциональна удлинению: $\vec{F}_y = -k\Delta\vec{l}$, где k – жёсткость,

способность сопротивляться образованию деформации; $\vec{\Delta l}$ – вектор удлинения, величина, определяемая силой упругости, возникающей при единичной деформации данного тела. Вектор удлинения и сила упругости противоположно направлены: $\vec{\Delta l} \uparrow \downarrow \vec{F}_y$. Внешняя сила \vec{F}_B и вектор удлинения сонаправлены: $\vec{\Delta l} \uparrow \uparrow \vec{F}_B$. По III закону Ньютона: $\vec{F}_y = -\vec{F}_B$.

Рис. 13. Линейная зависимость силы упругости от деформации тела



1.5. Силы трения

Взаимодействие между различными соприкасающимися поверхностями называется *внешним трением*.

Если трение проявляется между частями одного и того же тела, то оно называется *внутренним трением*.

Трение между поверхностями двух соприкасающихся твёрдых тел при отсутствии между ними жидкой или газообразной прослойки называется *сухим трением*.

Сухое трение покоя – трение при отсутствии относительного перемещения соприкасающихся тел.

Сухое трение скольжения – трение при относительном движении соприкасающихся тел.

Жидкое (вязкое) трение – трение между поверхностью твёрдого тела и окружающей его жидкой или газообразной средой, в которой тело движется.

Во всех видах трения возникает *сила трения* $\vec{F}_{\text{тр}}$, направленная вдоль поверхности соприкасающихся тел противоположно скорости их относительного перемещения.

Сила трения $\vec{F}_{\text{тр}}$, препятствующая возникновению движения одного тела по поверхности другого, называется *силой трения покоя*. Сила трения покоя возрастает от нуля до предельного значения $\vec{F}_{\text{трmax}}$ (*предельная сила трения покоя*) при попытке вывести тело из состояния покоя возрастающей внешней силой $\vec{F}_{\text{в}}$, параллельной плоскости соприкосновения тел. Относительное движение возникает при условии $\vec{F}_{\text{в}} > \vec{F}_{\text{трmax}}$. Приблизённо $F_{\text{трmax}} = \mu_0 N$, где μ_0 – коэффициент трения покоя, зависит от природы соприкасающихся поверхностей, его значение получают экспериментальным путём. *Сила трения скольжения* $F_{\text{трс}} = \mu N$, где μ – коэффициент трения скольжения, зависит от тех же факторов, что и μ_0 , а также от скорости относительного движения соприкасающихся тел, определяется опытным путём, $\mu < \mu_0$. Силы трения являются непотенциальными силами, их работа зависит от формы траектории.

Примеры задач с решениями

1. Учитывая, что масса Луны в 81 раз меньше массы Земли, определите отношение силы тяготения F_1 , действующей со стороны Земли, к силе тяготения F_2 , действующей со стороны Луны.

Ответ: согласно закону Всемирного тяготения, Земля и Луна притягиваются с равными по модулю силами. То есть $\frac{F_1}{F_2} = 1$.

2. Масса Луны в 81 раз меньше массы Земли, а диаметр её в 3,7 раза меньше диаметра Земли. Чему равно ускорение свободного падения на Луне?

<i>Дано:</i>	<i>Решение:</i>
$M = 81m, R = 3,7r.$	Ускорение свободного падения у поверхности Луны:
$g_l - ?$	$g_l = \gamma \frac{m}{r^2}.$ <p>Ускорение свободного падения у поверхности Земли:</p> $g = \gamma \frac{M}{R^2} = \gamma \frac{81m}{(3,7r)^2}.$ <p>Сравнивая выражения для ускорений, видим, что:</p> $g = \frac{81}{3,7^2} \cdot g_l \Leftrightarrow g_l = \frac{3,7^2}{81} \cdot g = 1,7 \text{ (м/с}^2\text{)}.$
<i>Ответ:</i> $g_l = 1,7 \text{ м/с}^2.$	

3. Найти ускорение свободного падения на высоте над поверхностью Земли, равной двум её радиусам.

<i>Дано:</i>	<i>Решение:</i>
$h = 2R_3$	Ускорение свободного падения у поверхности Земли:
$g_h - ?$	$g = \gamma \frac{m_3}{R_3^2}.$ <p>Ускорение свободного падения на высоте h над поверхностью Земли:</p> $g_h = \gamma \frac{m_3}{(R_3 + h)^2} = \gamma \frac{m_3}{(R_3 + 2R_3)^2} = \gamma \frac{m_3}{(3R_3)^2} = \gamma \frac{m_3}{9R_3^2} = \frac{g}{9} \approx 1,1 \text{ (м/с}^2\text{)}.$
<i>Ответ:</i> $g_h \approx 1,1 \text{ м/с}^2.$	

4. С каким ускорением надо поднимать гирию, чтобы вес её увеличился в два раза?

<i>Дано:</i>	<i>Решение:</i>
$P = 2P_0$	По III закону Ньютона вес тела равен силе реакции опоры: $P = N$.
$a = ?$	<p>В состоянии покоя: $N_0 = mg$ и, следовательно, $P_0 = mg$.</p> <p>При ускоренном движении вверх, согласно II закону Ньютона:</p> $N - mg = ma \Leftrightarrow N = mg + ma.$ <p>Учитывая условие, получим: $P = 2P_0 \Rightarrow m(g + a) = 2mg \Rightarrow a = g$.</p>
<i>Ответ:</i> $a = g$.	

5. Жёсткость пружины равна k . Найдите жёсткость трёх таких пружин, соединённых параллельно. Последовательно.

<i>Дано:</i>	<i>Решение:</i>
$k_1 = k_2 = k_3 = k$.	1) При параллельном соединении пружин силы упругости каждой пружины складываются:
$k_{\text{ПАРАЛЛ}} = ?$	$F_{y123} = F_{y1} + F_{y2} + F_{y3}.$
$k_{\text{ПОСЛ}} = ?$	<p>По закону Гука:</p> $k_{123}\Delta l_{123} = k_1\Delta l_1 + k_2\Delta l_2 + k_3\Delta l_3.$ <p>При параллельном соединении пружин нагрузка перераспределяется и удлинения пружин равны:</p> $\Delta l_{123} = \Delta l_1 = \Delta l_2 = \Delta l_3.$ <p>Получим:</p> $k_{123} = k_1 + k_2 + k_3.$

По условию $k_1 = k_2 = k_3 = k$, следовательно:

$$k_{\text{ПАРАЛЛ}} = k_{123} = 3k.$$

2) При последовательном соединении пружин силы упругости пружин равны по III закону Ньютона:

$$F_{y123} = F_{y1} = F_{y2} = F_{y3}.$$

При последовательном соединении пружин складываются их удлинения:

$$\Delta l_{123} = \Delta l_1 + \Delta l_2 + \Delta l_3.$$

Из закона Гука следует, что:

$$\frac{F_{y123}}{k_{123}} = \frac{F_{y1}}{k_1} + \frac{F_{y2}}{k_2} + \frac{F_{y3}}{k_3}$$

Получим:

$$\frac{1}{k_{123}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3}.$$

По условию $k_1 = k_2 = k_3 = k$, то есть:

$$k_{\text{ПОСЛ}} = k_{123} = \frac{k}{3}.$$

Ответ: $k_{\text{ПАРАЛЛ}} = 3k$, $k_{\text{ПОСЛ}} = \frac{k}{3}$.

6. При движении по горизонтальной поверхности на тело действует сила трения скольжения 10 Н. Определите силу трения скольжения при уменьшении массы тела в 5 раз. Коэффициент трения не изменяется.

<i>Дано:</i>	<i>Решение:</i>
$F_{\text{ТР1}} = 10 \text{ Н},$ $m_2 = \frac{m_1}{5},$ $\mu_1 = \mu_2 = \mu.$	Сила трения скольжения пропорциональна массе тела: $F_{\text{ТР}} = \mu N = \mu mg .$ При уменьшении массы тела в пять раз при неизменном коэффициенте трения в пять раз уменьшится и сила трения:
$F_{\text{ТР2}} = ?$	$F_{\text{ТР2}} = \frac{F_{\text{ТР1}}}{5} = \frac{10}{5} = 2 \text{ (Н)}.$
<i>Ответ:</i> $F_{\text{ТР2}} = 2 \text{ Н}.$	

Задачи для самостоятельного решения

1. Расстояние между центрами шаров равно 1 м, масса каждого шара 1 кг.

Сила тяготения между ними примерно равна

- 1) 1 Н 2) 0,001 Н 3) $7 \cdot 10^{-5}$ Н 4) $7 \cdot 10^{-11}$ Н

2. Два маленьких шарика массой m каждый находятся на расстоянии r друг от друга и притягиваются с силой F . Определите силу гравитационного взаимодействия между шариками с массами $m/2$, находящимися на расстоянии $2r$.

- 1) $\frac{F}{2}$ 2) $\frac{F}{4}$ 3) $\frac{F}{8}$ 4) $\frac{F}{16}$

3. На каком расстоянии от центра Земли силы притяжения космического корабля к Земле и Луне уравновешивают друг друга? Масса Луны в 81 раз меньше массы Земли, а расстояние между их центрами в 60 раз больше радиуса Земли R_3 .

- 1) $25R_3$ 2) $32R_3$ 3) $50R_3$ 4) $54R_3$

4. Космонавт, находясь на Земле, притягивается к ней с силой 700 Н. Какова приблизительно сила его притяжения к поверхности Марса? Радиус Марса в 2 раза, а масса – в 10 раз меньше, чем у Земли.

- 1) 70 Н 2) 140 Н 3) 210 Н 4) 280 Н

5. Космический корабль движется вокруг Земли по круговой орбите радиусом $2 \cdot 10^7$ м. Его скорость равна

- 1) 4,5 км/с 2) 6,3 км/с 3) 8 км/с 4) 11 км/с

6. Космическая ракета удаляется от Земли. На каком расстоянии от земной поверхности сила гравитационного притяжения ракеты Землёй уменьшится в 4 раза по сравнению с силой притяжения на земной поверхности? Радиус Земли принять равным R .

- 1) R 2) $\sqrt{2} R$ 3) $2R$ 4) $3R$

7. Во сколько раз сила притяжения Земли к Солнцу больше силы притяжения Меркурия к Солнцу? Масса Меркурия составляет $\frac{1}{18}$ массы Земли, а расположен он в 2,5 раза ближе к Солнцу, чем Земля.

- 1) в 2,25 раза 2) в 2,9 раза 3) в 7,5 раз 4) в 18 раз

8. Средняя плотность планеты равна средней плотности Земли, радиус планеты в два раза больше радиуса Земли. Во сколько раз первая космическая скорость планеты больше, чем для Земли?

- 1) 1 2) 2 3) 1,41 4) 4

9. Искусственный спутник обращается по круговой орбите на высоте 600 км от поверхности планеты. Радиус планеты 3400 км, ускорение

свободного падения на поверхности планеты равно 4 м/с^2 . Определите скорость движения спутника по орбите.

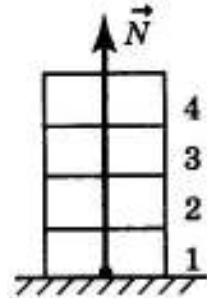
- 1) 3,4 км/с 2) 3,7 км/с 3) 5,4 км/с 4) 6,8 км/с

10. Искусственный спутник обращается по круговой орбите на высоте 600 км от поверхности планеты со скоростью 3,4 км/с. Радиус планеты 3400 км. Определите ускорение свободного падения на поверхности планеты.

- 1) 3,0 км/с² 2) 4,0 м/с² 3) 9,8 м/с² 4) 9,8 км/с²

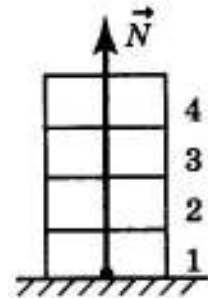
11. Четыре одинаковых кирпича массой m каждый сложены в стопку (см. рисунок). Если убрать верхний кирпич, то сила N , действующая со стороны горизонтальной опоры на 1-й кирпич, уменьшится на

- 1) $\frac{mg}{4}$ 2) $\frac{mg}{2}$ 3) mg 4) $\frac{mg}{3}$



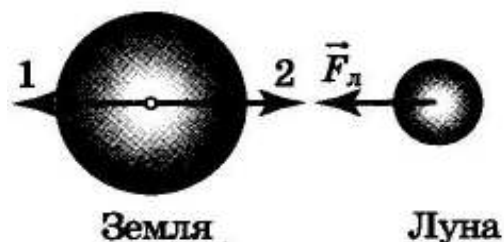
12. Четыре одинаковых кирпича массой m каждый сложены в стопку (см. рисунок). Если сверху положить ещё один такой же кирпич, то сила N , действующая со стороны горизонтальной опоры на 1-й кирпич, увеличится на

- 1) $\frac{mg}{5}$ 2) mg 3) $\frac{mg}{4}$ 4) $\frac{4mg}{5}$



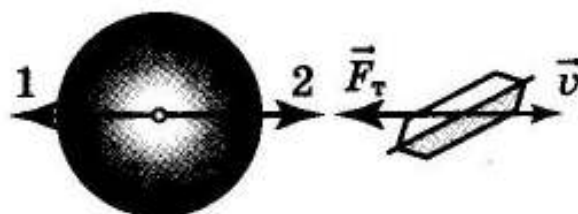
13. На рисунке приведены условные обозначения Земли и Луны, а также вектор $F_{\text{л}}$ силы притяжения Луны Землёй. Известно, что масса Земли примерно в 81 раз больше массы Луны. Вдоль какой стрелки (1 или 2) направлена и чему равна по модулю сила, действующая на Землю со стороны Луны?

- 1) вдоль 1, равна $F_{\text{Л}}$
- 2) вдоль 2, равна $F_{\text{Л}}$
- 3) вдоль 1, равна $81F_{\text{Л}}$
- 4) вдоль 3, равна $\frac{F_{\text{Л}}}{81}$

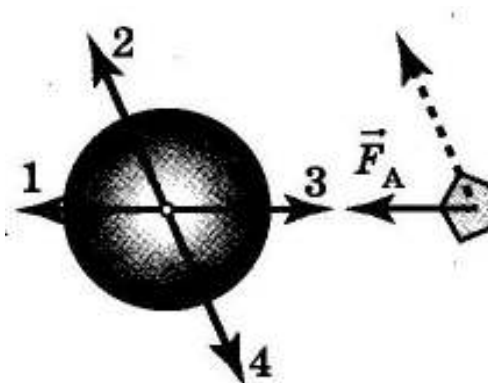


14. На рисунке приведены условные обозначения Земли, летающей тарелки, а также вектор \vec{F}_T силы притяжения тарелки Землёй. Масса летающей тарелки примерно в 10^{18} раз меньше массы Земли, и она удаляется от Земли. Вдоль какой стрелки (1 или 2) направлена и чему равна по модулю сила, действующая на Землю со стороны летающей тарелки?

- 1) вдоль 1, равна F_T
- 2) вдоль 2, равна F_T
- 3) вдоль 1, равна $\frac{F_T}{10^{18}}$
- 4) вдоль 3, равна $10^{18} \cdot F_T$



15. Мимо Земли летит астероид в направлении, показанном на рисунке пунктирной стрелкой. Вектор \vec{F}_A показывает силу притяжения астероида Землёй. Вдоль какой стрелки (1, 2, 3 или 4) направлена сила, действующая на Землю со стороны астероида?



- 1) вдоль 1
- 2) вдоль 2
- 3) вдоль 3
- 4) вдоль 4

16. При свободном падении ускорение всех тел одинаково. Этот факт объясняется тем, что

- 1) Земля имеет очень большую массу
- 2) все земные предметы очень малы по сравнению с Землёй
- 3) сила тяжести пропорциональна массе Земли
- 4) сила тяжести пропорциональна массе тела

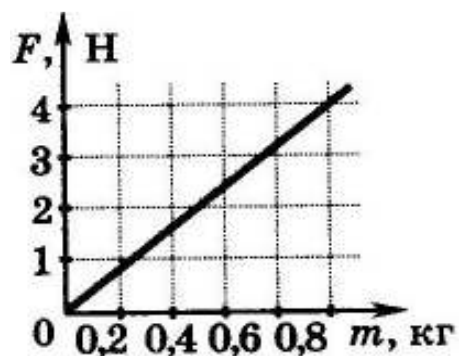
17. Земля притягивает к себе подброшенный мяч с силой 5 Н. С какой силой этот мяч притягивает к себе Землю?

- 1) 50 Н
- 2) 5 Н
- 3) 0,5 Н
- 4) 0,05 Н

18. Камень массой 100 г брошен вертикально вверх с начальной скоростью $V = 20$ м/с. Модуль силы тяжести, действующей на камень в момент броска, равен

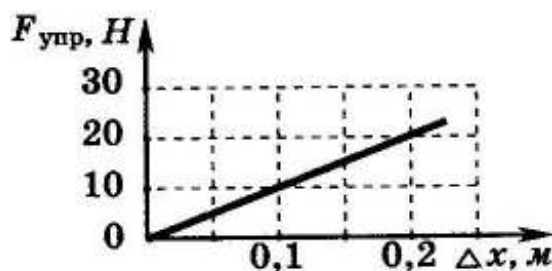
- 1) 0 Н
- 2) 0,05 Н
- 3) 1,0 Н
- 4) 2,0 Н

19. На графике показана зависимость силы тяжести от массы тела для некоторой планеты. Ускорение свободного падения на этой планете равно



- 1) $0,07 \text{ м/с}^2$
- 2) $1,25 \text{ м/с}^2$
- 3) $9,8 \text{ м/с}^2$
- 4) 4 м/с^2

20. На рисунке представлен график зависимости силы упругости пружины от величины её деформации. Жёсткость этой пружины равна



- 1) 10 Н/м 2) 20 Н/м 3) 100 Н/м 4) 0,01 Н/м

21. Под действием силы 3 Н пружина удлинилась на 4 см. Чему равен модуль силы, под действием которой удлинение этой пружины составит 6 см?

- 1) 3,5 Н 2) 4 Н 3) 4,5 Н 4) 5 Н

22. В процессе экспериментального исследования жёсткости трёх пружин получены данные, которые приведены в таблице.

Сила (F , Н)	0	10	20	30
Деформация пружины 1 (Δl , см)	0	1	2	3
Деформация пружины 2 (Δl , см)	0	2	4	6
Деформация пружины 3 (Δl , см)	0	1,5	3	4,5

Жёсткость пружин возрастает в такой последовательности

- 1) 1, 2, 3 2) 1, 3, 2 3) 2, 3, 1 4) 3, 1, 2

23. В процессе экспериментального исследования упругих свойств пружины получена таблица с результатами измерений силы упругости пружины и её удлинения:

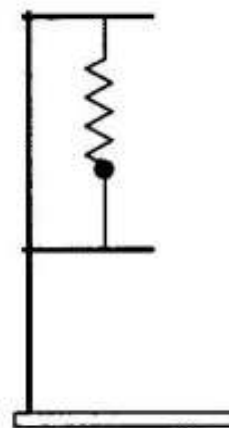
F , Н	0	0,5	1	1,5	2,0	2,5
Δl , см	0	1	2	3	4	5

Жёсткость пружин равна

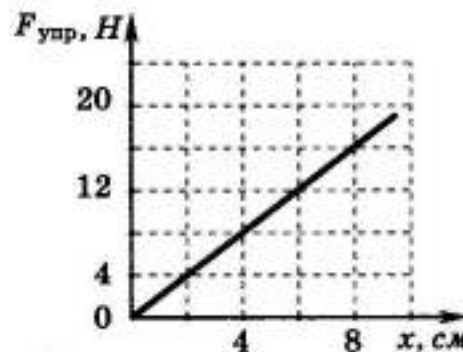
- 1) 0,5 Н/м 2) 5 Н/м 3) 50 Н/м 4) 500 Н/м

24. Была собрана установка с использованием нити, пружины и штатива (см. рисунок). Деформация пружины равна 0,05 м, её жёсткость 40 Н/м. Сила натяжения равна

- 1) 800 Н
2) 0,05 Н
3) 2 Н
4) 0 Н



25. Дана зависимость модуля силы упругости пружины от её деформации (см. рисунок). Определите удлинение пружины, если к ней подвешен груз массой 2 кг.



- 1) 8 см 2) 10 см 3) 12 см 4) 16 см

26. К пружине динамометра подвешен груз массой 0,1 кг. При этом пружина удлинилась на 2,5 см. Определите удлинение пружины при добавлении ещё двух грузов массой по 0,1 кг.

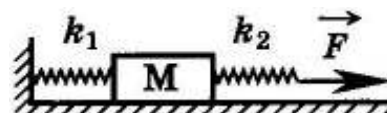
- 1) 5 см 2) 7,5 см 3) 10 см 4) 12,5 см

27. Под действием груза пружина удлинилась на 1 см. Этот же груз подвесили к пружине с вдвое большей жёсткостью. Определите удлинение второй пружины

- 1) 0,25 см 2) 0,5 см 3) 1 см 4) 2 см

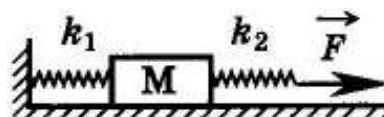
28. К системе из кубика массой 1 кг и двух пружин приложена сила \vec{F} (см. рисунок). Между кубиком и опорой трения нет. Система покоится. Жёсткости пружин равны $k_1 = 400$ Н/м и $k_2 = 200$ Н/м. Удлинение первой пружины равно 2 см. Вторая пружина растянута на

- 1) 1 см 2) 2 см
3) 8 см 4) 4 см



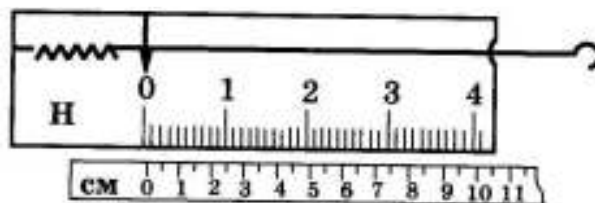
29. К системе из кубика массой 1 кг и двух пружин приложена сила \vec{F} (см. рисунок). Между кубиком и опорой трения нет. Система покоится. Жёсткости пружин равны $k_1 = 300$ Н/м и $k_2 = 600$ Н/м. Удлинение первой пружины равно 2 см. Модуль силы F равен

- 1) 6 Н 2) 9 Н
3) 12 Н 4) 18 Н



30. Шкала динамометра на рисунке проградуирована в ньютонах. Определите растяжение пружины, если к ней подвешен груз массой 200 г.

- 1) 5 см 2) 2,5 см
3) 3,5 см 4) 3,75 см

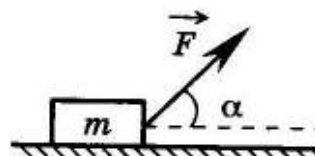


31. После удара клюшкой шайба массой 0,15 кг скользит по ледяной площадке. Её скорость при этом меняется в соответствии с уравнением $V = 20 - 3t$, где все величины выражены в СИ. Коэффициент трения шайбы о лёд равен

- 1) 0,15 2) 0,2 3) 3 4) 0,3

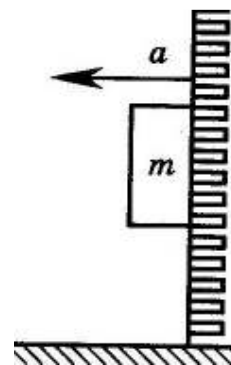
32. Брусок массой m движется равноускоренно по горизонтальной поверхности под действием силы, как показано на рисунке. Коэффициент трения скольжения равен μ . Определите модуль силы трения.

- 1) $mg \cos \alpha$ 2) $F \cos \alpha$
3) $\mu(mg - F \sin \alpha)$ 4) $\mu(mg + F \sin \alpha)$



33. К подвижной вертикальной стенке приложен груз массой 10 кг. Коэффициент трения между грузом и стенкой равен 0,4. С каким минимальным ускорением надо передвигать стенку влево, чтобы груз не соскользнул вниз?

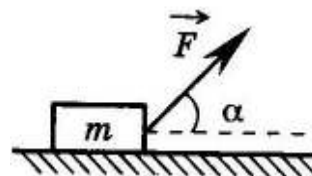
- 1) $4 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}^2$ 2) 4 м/с^2
3) 25 м/с^2 4) 250 м/с^2



34. Брусок массой 1 кг движется равноускоренно по горизонтальной поверхности под действием силы $F=10 \text{ Н}$, как показано на рисунке. Коэффициент трения скольжения равен 0,4, а угол $\alpha=30^\circ$.

Модуль силы трения равен

- 1) 8,5 Н 2) 2 Н
3) 3,4 Н 4) 6 Н



35. При движении по горизонтальной поверхности на тело массой 40 кг действует сила трения скольжения 10 Н. Определите силу трения скольжения при уменьшении массы тела в 5 раз. Коэффициент трения не изменяется.

- 1) 1 Н 2) 2 Н 3) 4 Н 4) 5 Н

36. Сила трения скольжения тела массой 5 кг о горизонтальную поверхность равна 6 Н. Определите коэффициент трения скольжения.

- 1) 0,012 2) 0,83 3) 0,12 4) 0,083

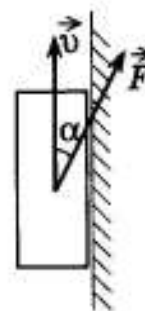
37. Деревянный брусок массой m , площади граней которого связаны отношением $S_1:S_2:S_3=1:2:3$, скользит равномерно по горизонтальной шероховатой опоре, соприкасаясь с ней гранью S_1 , под действием горизонтальной силы. Определите величину этой силы, если коэффициент трения бруска об опору равен μ .

- 1) $3mg$ 2) μmg 3) $\frac{\mu mg}{2}$ 4) $\frac{\mu mg}{6}$

38. На горизонтальном полу стоит ящик массой 10 кг. Коэффициент трения между полом и ящиком равен 0,25. К ящику в горизонтальном направлении прикладывают силу 16 Н, и он остаётся в покое. Определите силу трения между ящиком и полом.

- 1) 0 Н 2) 2,5 Н 3) 4 Н 4) 16 Н

39. Брусок массой m прижат к вертикальной стене силой F , направленной под углом α к вертикали (см. рисунок). Коэффициент трения между бруском и стеной равен μ . При какой величине силы F брусок будет двигаться по стене вертикально вверх с постоянной скоростью?



$$1) \frac{\mu mg}{\cos \alpha + \mu \sin \alpha} \quad 2) \frac{mg}{\cos \alpha + \mu \sin \alpha} \quad 3) \frac{\mu mg}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha} \quad 4) \frac{mg}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha}$$

40. Автомобиль совершает поворот по горизонтальной дороге по дуге окружности. Определите минимальный радиус окружности траектории автомобиля при его скорости 18 м/с и коэффициенте трения автомобильных шин о дорогу 0,4.

- 1) 81 м 2) 9 м 3) 45,5 м 4) 90 м

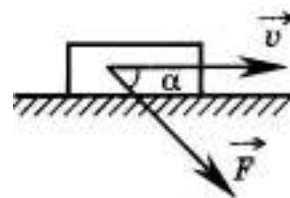
41. На горизонтальной дороге автомобиль совершает разворот радиусом 9 м. Коэффициент трения автомобильных шин об асфальт 0,4. Определите максимальную скорость автомобиля при повороте.

- 1) 36 м/с 2) 3,6 м/с 3) 6 м/с 4) 22,5 м/с

42. Брусок массой 0,5 кг прижат к вертикальной стене силой 10 Н, направленной перпендикулярно стене. Коэффициент трения скольжения между бруском и стеной равен 0,4. Какую минимальную силу надо приложить к бруску по вертикали, чтобы равномерно поднимать его вверх вдоль стены?

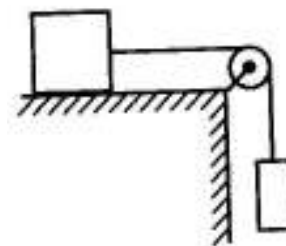
- 1) 9 Н 2) 7 Н 3) 5 Н 4) 4 Н

43. Тело массой 1 кг движется по горизонтальной поверхности под действием силы $F=10$ Н, как показано на рисунке. Коэффициент трения скольжения равен 0,4, а угол $\alpha=30^\circ$. Модуль силы трения равен



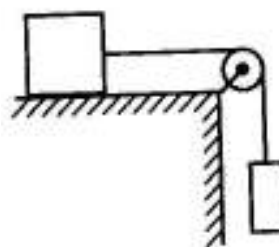
- 1) 3,4 Н 2) 0,6 Н 3) 0 Н 4) 6 Н

48. По горизонтальному столу из состояния покоя движется брусок массой 0,7 кг, соединённый с грузом массой 0,3 кг невесомой нерастяжимой нитью, перекинутой через гладкий неподвижный невесомый блок (см. рисунок). Коэффициент трения бруска о поверхность равен 0,2. Ускорение бруска равно



- 1) $1,0 \text{ м/с}^2$ 2) $1,6 \text{ м/с}^2$ 3) $2,3 \text{ м/с}^2$ 4) $3,0 \text{ м/с}^2$

49. По горизонтальному столу из состояния покоя движется массивный брусок, соединённый с грузом массой 0,4 кг невесомой нерастяжимой нитью, перекинутой через гладкий неподвижный невесомый блок (см. рисунок). Коэффициент трения бруска о поверхность равен 0,2. Груз движется с ускорением 2 м/с^2 . Масса бруска равна



- 1) 0,8 кг 2) 1,0 кг 3) 1,6 кг 4) 2,0 кг

50. Брусок скользит по наклонной плоскости вниз без трения. Что происходит при этом с его скоростью, потенциальной энергией, силой реакции наклонной плоскости?

К каждой позиции первого столбца подберите нужную позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) скорость
Б) потенциальная энергия
В) сила реакции наклонной плоскости

ИХ ИЗМЕНЕНИЕ

- 1) увеличится
2) уменьшится
3) не изменится

А	Б	В

ОТВЕТЫ К ЗАДАЧАМ ПО ТЕМАМ: «СИЛЫ ТЯЖЕСТИ». «СИЛЫ УПРУГОСТИ». «СИЛЫ ТРЕНИЯ»

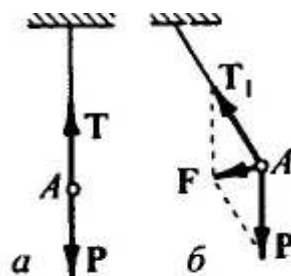
№	<i>ответ</i>	№	<i>ответ</i>	№	<i>ответ</i>	№	<i>ответ</i>	№	<i>ответ</i>
1	<i>4</i>	11	<i>3</i>	21	<i>3</i>	31	<i>4</i>	41	<i>3</i>
2	<i>4</i>	12	<i>2</i>	22	<i>3</i>	32	<i>3</i>	42	<i>1</i>
3	<i>4</i>	13	<i>2</i>	23	<i>3</i>	33	<i>3</i>	43	<i>4</i>
4	<i>4</i>	14	<i>2</i>	24	<i>3</i>	34	<i>2</i>	44	<i>2</i>
5	<i>1</i>	15	<i>3</i>	25	<i>2</i>	35	<i>2</i>	45	<i>4</i>
6	<i>1</i>	16	<i>4</i>	26	<i>2</i>	36	<i>3</i>	46	<i>1</i>
7	<i>2</i>	17	<i>2</i>	27	<i>2</i>	37	<i>2</i>	47	<i>1</i>
8	<i>2</i>	18	<i>3</i>	28	<i>4</i>	38	<i>4</i>	48	<i>2</i>
9	<i>1</i>	19	<i>4</i>	29	<i>1</i>	39	<i>4</i>	49	<i>1</i>
10	<i>2</i>	20	<i>3</i>	30	<i>1</i>	40	<i>1</i>	50	<i>123</i>

2. СТАТИКА. ГИДРОАЭРОСТАТИКА

2.1. Статика

Статика изучает условия равновесия тел под действием приложенных сил. Под равновесием понимают состояние покоя, равномерного прямолинейного движения или вращения. Рассматривают три вида равновесия: *устойчивое, неустойчивое, безразличное.*

Рис. 14. Пример устойчивого равновесия



Равновесие тела в некотором состоянии называется *устойчивым* (рис. 14а), если после выведения тела из этого состояния возникают силы или моменты сил, стремящиеся вернуть тело в это состояние (рис. 14б).

Если возникающие силы или моменты сил стремятся отклонить тело ещё больше от первоначального состояния, то равновесие – *неустойчивое* (рис. 15а,б).

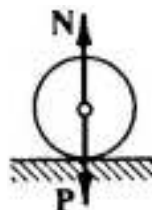


Рис. 15. Пример неустойчивого равновесия

Равновесие тела называется *безразличным*, если при любых малых отклонениях тела от положения равновесия не возникает сил или моментов

сил, стремящихся вернуть тело в начальное положение или ещё больше удалить тело от начального положения (рис. 16).

Рис. 16. Пример безразличного равновесия



Условия равновесия тела:

1) Векторная сумма сил, действующих на тело, равна нулю:

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0, \quad (39)$$

где n – число сил, действующих на тело.

2) Сумма моментов сил, действующих на тело, равна нулю:

$$\sum_{i=1}^n M_i = 0, \quad (40)$$

где n – число моментов сил, действующих на тело.

Момент силы – произведение модуля силы F , действующей на тело, и плеча этой силы l : $M = Fl$.

Плечо – перпендикуляр, восстановленный из точки вращения тела на линию действия силы.

Моменты сил, стремящихся повернуть тело по часовой и против часовой стрелки, имеют противоположные знаки.

Пример задачи с решением

1. Однородная балка массой 8 кг уравновешена на трёхгранной призме. Четвёртую часть балки отрезали. Какую силу следует приложить к отрезанному концу балки для сохранения равновесия?

Дано:	Решение:
$m = 6 \text{ кг}$	Сделаем чертёж, расставим силы, действующие на балку:
$F = ?$	<div data-bbox="699 913 1086 1126" data-label="Image"> </div> <p data-bbox="331 1216 1449 1653">Точку вращения выберем на опоре, тогда момент силы реакции опоры будет равен нулю, так как в этом случае равно нулю плечо этой силы. Сила тяжести mg приложена к середине оставшейся после отрезания части балки массой 6 кг, её плечо равно восьмой части балки. Плечо силы F равно четверти балки. Балка придёт в равновесие при равенстве моментов силы тяжести mg и искомой силы F:</p> $mg \cdot \frac{l}{8} = F \cdot \frac{l}{4}, \text{ где } l - \text{длина балки.}$ <p data-bbox="331 1798 643 1839">Определим силу F:</p> $F = \frac{mg}{2} = \frac{6 \cdot 10}{2} = 30 \text{ (Н).}$
Ответ: $F = 30 \text{ Н.}$	

Задачи для самостоятельного решения

1. Грузик массой $0,1$ кг, привязанный к нити длиной 1 м, вращается в горизонтальной плоскости по окружности радиусом $0,2$ м. Момент силы тяжести относительно точки подвеса равен

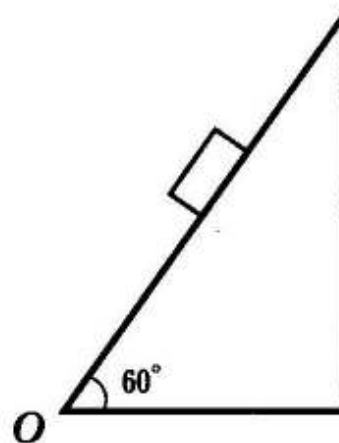


- 1) $0,2$ Н·м 2) $0,4$ Н·м 3) $0,8$ Н·м 4) $1,0$ Н·м

2. Груз массой 1 кг, привязанный к нити длиной 1 м, совершает колебания в вертикальной плоскости. Определите момент силы тяжести груза относительно точки подвеса при отклонении нити от вертикали на угол 30° .

- 1) $0,25$ Н·м 2) $0,50$ Н·м 3) $0,75$ Н·м 4) $1,0$ Н·м

3. Угол наклона плоскости 60° (см. рисунок), длина плоскости $0,6$ м. Определите момент силы тяжести бруска массой $0,1$ кг относительно точки O при прохождении им середины наклонной плоскости.

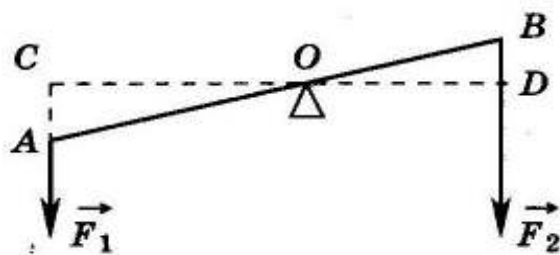


- 1) $0,15$ Н·м 2) $0,45$ Н·м 3) $0,30$ Н·м 4) $0,60$ Н·м

7. На рисунке изображён рычаг.

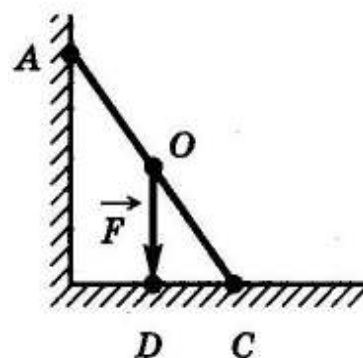
Какой отрезок является плечом силы F_2 ?

- 1) OB 2) BD
3) OD 4) AB



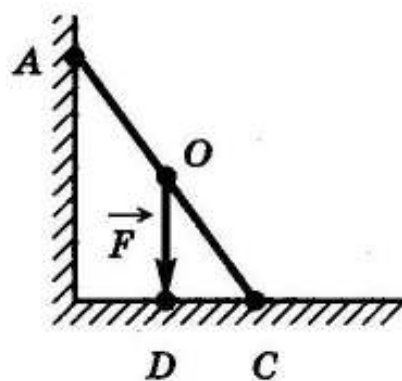
8. На рисунке схематически изображена лестница AC , прислонённая к стене. Определите плечо силы тяжести \vec{F} , действующей на лестницу, относительно точки C .

- 1) OC 2) OD 3) AC
4) DC



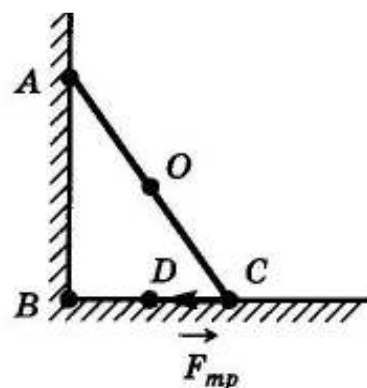
9. На рисунке схематически изображена лестница AC , прислонённая к стене. Определите момент силы тяжести \vec{F} , действующей на лестницу, относительно точки C .

- 1) $F \cdot OC$ 2) $F \cdot OD$ 3) $F \cdot AC$ 4) $F \cdot DC$



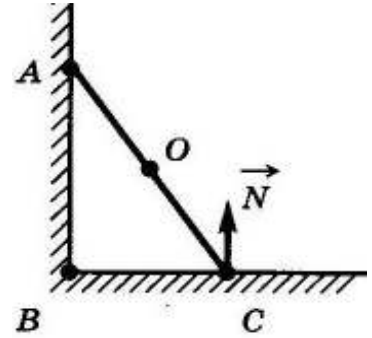
10. На рисунке схематически изображена лестница AC , прислонённая к стене. Определите момент силы трения $\vec{F}_{\text{тр}}$, действующей на лестницу, относительно точки C .

- 1) 0 2) $F_{\text{тр}} \cdot AB$ 3) $F_{\text{тр}} \cdot BC$ 4) $F_{\text{тр}} \cdot CD$



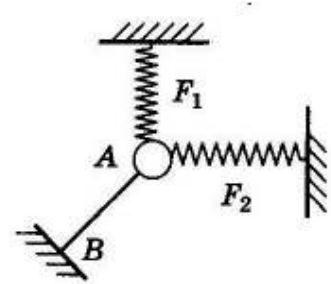
11. На рисунке схематически изображена лестница AC , прислонённая к стене. Определите момент силы реакции опоры \vec{N} , действующей на лестницу, относительно точки C .

- 1) $N \cdot OC$ 2) 0 3) $N \cdot AC$ 4) $N \cdot BC$



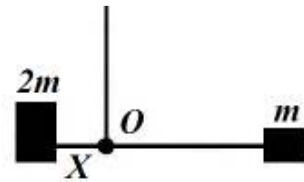
12. Тело A (см. рисунок) под действием трёх сил находится в равновесии. Чему равна сила упругости нити AB , если силы $F_1 = 3 \text{ Н}$ и $F_2 = 4 \text{ Н}$ перпендикулярны друг другу.

- 1) 3 Н 2) 4 Н 3) 5 Н 4) 7 Н



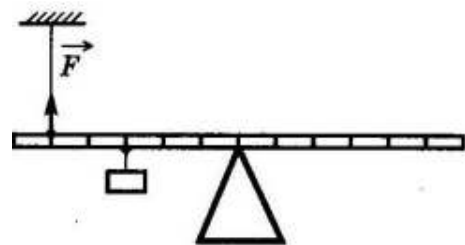
13. Два груза массами $2m$ и m закреплены на невесомом стержне длиной L . Чтобы стержень оставался в равновесии, его следует подвесить в точке O , находящейся на расстоянии X от массы $2m$. Определите расстояние X .

- 1) $\frac{L}{3}$ 2) $\frac{L}{2}$ 3) $\frac{L}{4}$ 4) $\frac{2L}{5}$

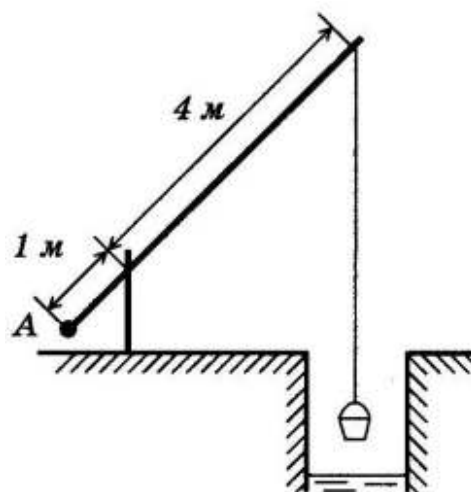


14. С помощью нити зафиксирован рычаг (см. рисунок). Масса подвешенного к рычагу груза равна $0,1 \text{ кг}$. Определите силу натяжения нити F .

- 1) $\frac{H}{5}$ 2) $\frac{2H}{5}$ 3) $\frac{3H}{5}$ 4) $\frac{4H}{5}$

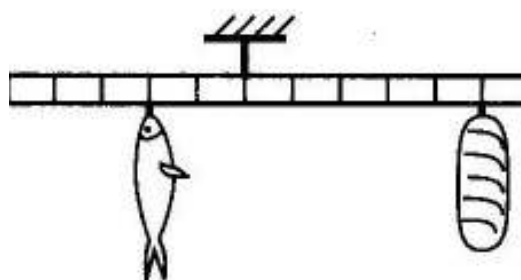


15. Каким должен быть вес груза A колодезного журавля (см. рисунок), чтобы он уравновешивал вес ведра, равный 100 Н ? Рычаг считайте невесомым.



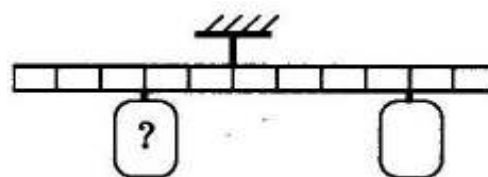
- 1) 20 Н 2) 25 Н
3) 400 Н 4) 500 Н

16. Рыбу взвесили на самодельных весах из рейки (см. рисунок). В качестве гири использовался батон массой 1 кг . Определите массу рыбы.



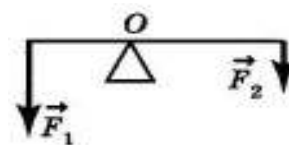
- 1) 5 кг 2) 3 кг 3) $0,4\text{ кг}$ 4) 1 кг

17. Тело массой $0,2\text{ кг}$ подвешено к правому плечу невесомого рычага (см. рисунок). Какой массы груз надо подвесить ко второму делению левого плеча рычага для достижения равновесия?



- 1) $0,1\text{ кг}$ 2) $0,2\text{ кг}$ 3) $0,3\text{ кг}$ 4) $0,4\text{ кг}$

18. На рычаг, находящийся в равновесии, действуют силы $F_1=10\text{ Н}$ и $F_2=4\text{ Н}$ (см. рисунок). С какой силой рычаг давит на опору? Массой рычага пренебречь.



- 1) 14 Н 2) 10 Н 3) 6 Н 4) 4 Н

19. Где следует поставить опору под линейку длиной 1,5 м, чтобы подвешенные к её концам грузы массами 1 кг и 2 кг (см. рисунок) находились в равновесии? Массой линейки пренебречь.



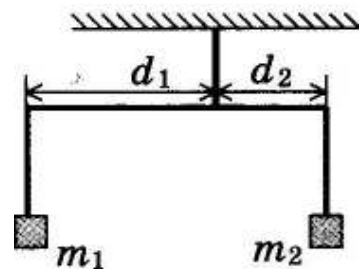
- 1) на расстоянии 1 м от груза массой 1 кг
- 2) на расстоянии 1 м от груза массой 2 кг
- 3) на середине линейки
- 4) на расстоянии 0,5 м от груза массой 1 кг

20. К левому концу невесомого стержня прикреплён груз массой 3 кг (см. рисунок). Стержень расположили на опоре, отстоящей от груза на расстоянии 0,2 длины линейки. Какой массы груз надо подвесить к правому концу линейки, чтобы стержень находился в равновесии?



- 1) 0,6 кг
- 2) 0,75 кг
- 3) 6 кг
- 4) 7,5 кг

21. Коромысло весов, к которому подвешены два тела массами m_1 и m_2 (см. рисунок), находится в равновесии. Как нужно изменить массу первого тела, чтобы после увеличения плеча d_1 в 3 раза равновесие сохранилось?



- 1) увеличить в 3 раза
- 2) увеличить в 6 раз
- 3) уменьшить в 3 раза
- 4) уменьшить в 6 раз

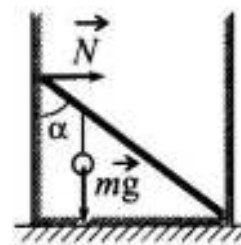
22. Результаты исследований условий равновесия рычага занесены в таблицу:

$F_1, \text{ Н}$	$l_1, \text{ м}$	$F_2, \text{ Н}$	$l_2, \text{ м}$
30	?	15	0,4

Определите плечо l_1 .

- 1) 1 м 2) 0,2 м 3) 0,4 м 4) 0,8 м

23. Невесомый стержень длиной 1 м, находящийся в ящике с гладкими дном и стенками, составляет угол $\alpha=45^\circ$ с вертикалью (см. рисунок). К стержню на расстоянии 25 см от левого конца подвешен на нити шар массой 2 кг. Определите модуль силы реакции опоры N , действующей на шар со стороны левой стенки ящика.



24. Рычаг находится в равновесии под действием двух сил $F_1=4 \text{ Н}$ и F_2 . Плечи сил равны соответственно $l_1=15 \text{ см}$ и $l_2=10 \text{ см}$. Определите силу F_2 .

- 1) 4 Н 2) 0,16 Н 3) 6 Н 4) 2,7 Н

ОТВЕТЫ К ЗАДАЧАМ ПО ТЕМЕ «СТАТИКА»

№	ответ	№	ответ	№	ответ	№	ответ	№	ответ
1	1	6	1	11	2	16	2	21	3
2	2	7	3	12	3	17	4	22	2
3	1	8	4	13	1	18	1	23	15
4	1	9	4	14	3	19	1	24	3
5	4	10	1	15	3	20	2		

2.2. Гидроаэростатика

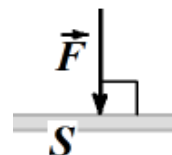
В этом разделе рассматриваются условия и закономерности равновесия жидкостей и газов под воздействием приложенных к ним сил и условия равновесия твёрдых тел, находящихся в жидкостях или газах. Здесь не учитывается строение жидкостей или газов, они рассматриваются как *сплошные среды*, непрерывно распределённые в пространстве (не относится к разреженным газам).

Давление \vec{P} определяется:

$$\vec{P} = \frac{\vec{F}}{S}, \quad (41)$$

где \vec{F} – сила, действующая на площадь S , расположенную перпендикулярно силе \vec{F} (рис. 17). В системе единиц СИ давление измеряется в паскалях: $[P]=1\text{Н}/\text{м}^2=1\text{Па}$. внесистемные единицы измерения давления: 1 атмосфера (1 атм.), 1 миллиметр ртутного столба (1 мм рт. ст.). Связь между единицами измерения давления: 1 атм.=101 325 Па($\approx 10^5$ Па)=760 мм рт. ст.

Рис. 17. Представление силы \vec{F} , действующей перпендикулярно площади S



Давление столба покоящейся однородной жидкости (газа) на глубине h :

$$P = \rho gh, \quad (42)$$

где ρ – плотность жидкости (газа), g – ускорение свободного падения.

Полное давление в любой точке жидкости (газа): $P=P_A+\rho gh$, где P_A – атмосферное давление. Давление жидкости на боковую поверхность сосуда $P_{\text{БОК}}$ равно среднему давлению $P_{\text{СР}}$ данной жидкости (газа):

$$P_{\text{БОК}} = P_{\text{СР}} = \frac{\rho gh}{2}. \quad (43)$$

2.2.1. Закон Паскаля

Закон Паскаля: жидкость или газ, находящиеся в замкнутом сосуде, передают производимое на них давление по всем направлениям одинаково.

Из закона Паскаля следует: при равновесии жидкости в сообщающихся сосудах давление на поверхности одного уровня в этих сосудах одинаково.

2.2.2 Закон Архимеда

Закон Архимеда: на тело, погружённое в жидкость (газ), действует выталкивающая сила, численно равная силе тяжести жидкости (газа), вытесненной погружённой частью этого тела:

$$F_A = \rho Vg, \quad (44)$$

где ρ – плотность жидкости; V – объём погружённой части тела, равный объёму вытесненной жидкости; g – ускорение свободного падения.

Из закона Архимеда следует *условие плавания тел:* если выталкивающая сила численно равна силе тяжести тела, погруженного в жидкость (газ), то тело плавает в жидкости (газе).

Точка приложения выталкивающей силы называется *центром давления* (центр масс погружённой части тела).

Пример задачи с решением

Кусок металла весит в воздухе 624 Н, а при погружении в воду его вес равен 544 Н. Определите плотность металла. Плотность воды 1 000 кг/м³.

<i>Дано:</i>	<i>Решение:</i>
$P_0 = 624 \text{ Н},$ $P = 544 \text{ Н},$ $\rho_{\text{в}} = 1000 \text{ кг/м}^3.$	<p>Сделаем чертёж, расставим силы, действующие на тело. На рис. 18а тело находится в состоянии покоя под действием двух сил: силы реакции опоры \vec{N}_0 и силы тяжести $m\vec{g}$, их векторная сумма равна нулю:</p>
$\rho_{\text{м}} - ?$	$\vec{N}_0 + m\vec{g} = 0.$ <p>В проекциях на вертикальную ось получим:</p> $N_0 = mg.$ <p>По III закону Ньютона сила реакции опоры N_0 равна весу тела P_0:</p> $N_0 = P_0.$ <p>То есть $P_0 = mg$.</p> <p>На рис. 18б тело находится в состоянии покоя под действием трёх сил: силы реакции опоры \vec{N}, силы тяжести $m\vec{g}$ и выталкивающей силы Архимеда \vec{F}_A, их векторная сумма равна нулю:</p> $\vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_A = 0.$ <p>В проекциях на вертикальную ось получим:</p> $N + F_A = mg.$

Согласно III закону Ньютона сила реакции опоры N равна весу тела P :

$$N = P.$$

Получим выражение:

$$P + F_A = mg.$$

Сила Архимеда F_A и масса тела m определяются формулами:

$$F_A = \rho_B Vg \text{ и } m = \rho_M V.$$

Получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} P_0 = mg, \\ P + \rho_B Vg = mg, \\ m = \rho_M V. \end{cases}$$

Из последнего уравнения системы выразим искомую плотность металла:

$$\rho_M = \frac{m}{V}.$$

Из первого и второго уравнений системы выразим массу m и объём V тела:

$$m = \frac{P_0}{g}, \quad V = \frac{P_0 - P}{\rho_B g}.$$

Определим плотность металла:

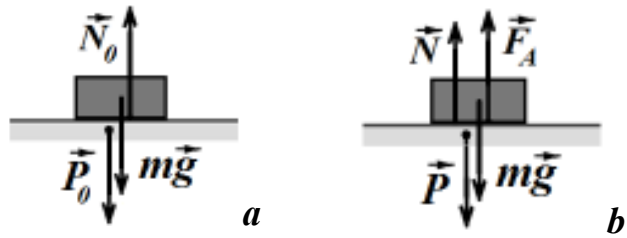
$$\rho_M = \frac{m}{V} = \rho_B \frac{P_0}{P_0 - P}.$$

Найдём искомую величину:

$$\rho_M = 1000 \cdot \frac{624}{624 - 544} = 7,8 \cdot 10^3 \text{ (кг/м}^3\text{)}.$$

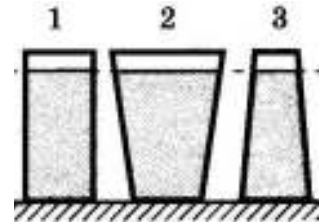
Ответ: $\rho_M = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Рис.18.Состояние покоя тела под действием приложенных сил



Задачи для самостоятельного решения

1. На рисунке изображены три сосуда с водой. Площади дна сосудов равны. Сравните давления воды p_1 , p_2 и p_3 на дно каждого сосуда.

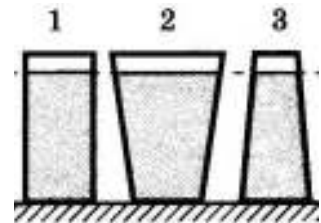


- 1) $p_1 = p_2 = p_3$ 2) $p_1 < p_2 < p_3$ 3) $p_1 = p_3 < p_2$ 4) $p_1 = p_3 > p_2$

2. Определите приблизительное давление, создаваемое водой на глубине 2 м.

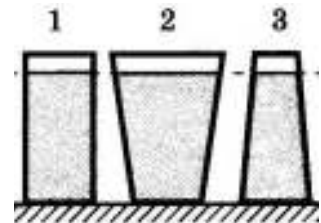
- 1) 200 Па 2) 2 000 Па 3) 5 000 Па 4) 20 000 Па

3. На рисунке изображены три сосуда с водой. Площади дна сосудов равны. Сравните силы давления воды F_1 , F_2 и F_3 на дно каждого сосуда.



- 1) $F_1 = F_2 = F_3$ 2) $F_1 < F_2 < F_3$ 3) $F_1 = F_2 < F_3$ 4) $F_1 = F_2 > F_3$

4. На рисунке изображены три сосуда с водой. Площади дна сосудов равны. В первом сосуде находится вода ($\rho=1 \text{ г/см}^3$), во втором – керосин ($\rho=0,8 \text{ г/см}^3$), в третьем – спирт ($\rho=1 \text{ г/см}^3$).



Сравните давления жидкостей p_1 , p_2 и p_3 на дно

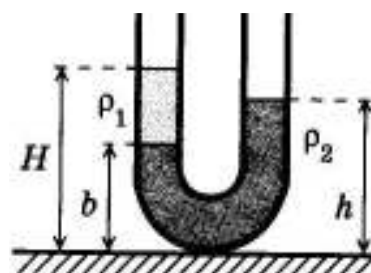
каждого сосуда.

- 1) $p_1 = p_2 = p_3$ 2) $p_2 = p_3 > p_1$ 3) $p_1 = p_3 < p_2$ 4) $p_1 > p_2 = p_3$

5. На какую максимальную высоту может поднимать воду насос, если создаваемый им перепад давления равен 200 кПа?

- 1) 0,02 м 2) 20 м 3) $2 \cdot 10^5$ м 4) 200 м

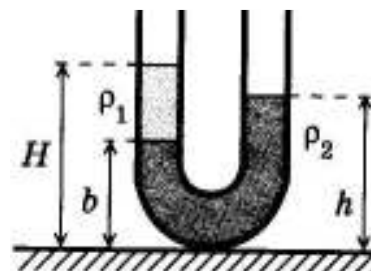
6. В широкую U-образную трубку, расположенную вертикально, налиты жидкости плотностью ρ_1 и ρ_2 (см. рисунок). На рисунке $b=5$ см, $h=19$ см, $H=25$ см. Отношение



плотностей $\frac{\rho_1}{\rho_2}$ равно

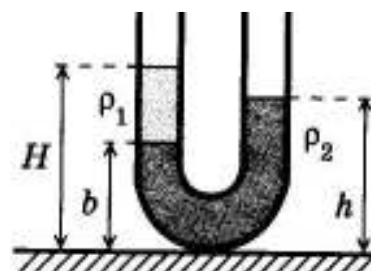
- 1) 0,70 2) 0,76 3) 0,95 4) 1,43

7. В широкую U-образную трубку, расположенную вертикально, налиты керосин плотностью $\rho_1=0,8 \cdot 10^3$ кг/м³ и вода плотностью $\rho_2=10^3$ кг/м³ (см. рисунок). На рисунке $b=10$ см, $H=30$ см. Высота b равна



- 1) 16 см 2) 20 см 3) 24 см 4) 26 см

8. В широкую U-образную трубку, расположенную вертикально, налиты неизвестная жидкость плотностью ρ_1 и вода плотностью $\rho_2=1,0 \cdot 10^3$ кг/м³ (см. рисунок).



На рисунке $b=10$ см, $h=24$ см, $H=30$ см.

Плотность жидкости ρ_1 равна

- 1) $0,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ 2) $0,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ 3) $0,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ 4) $0,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$

9. Аэростат объёмом $1\,000 \text{ м}^3$ заполнен гелием. Плотность гелия $0,18 \text{ кг/м}^3$. Плотность воздуха $1,29 \text{ кг/м}^3$. На аэростат действует выталкивающая сила

- 1) $1,29 \text{ кН}$ 2) $12,9 \text{ кН}$ 3) 180 кН 4) $1,8 \text{ кН}$

10. Пластиковый пакет с водой объёмом 1 л полностью погрузили в воду. На него действует выталкивающая сила, равная

- 1) 0 Н 2) 1 Н 3) 9 Н 4) 10 Н

11. Во время опыта по исследованию выталкивающей силы, действующей на полностью погружённое в воду тело, ученик в три раза уменьшил глубину его положения под водой. При этом выталкивающая сила

- 1) не изменилась 2) увеличилась в 3 раза
3) уменьшилась в 3 раза 4) увеличилась в 9 раз

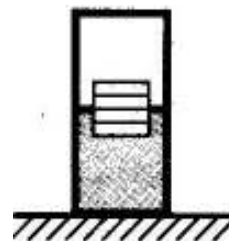
12. Груз массой $0,1 \text{ кг}$ подвешен к нити и опущен в воду. На груз действует выталкивающая сила Архимеда $0,3 \text{ Н}$. Сила натяжения нити равна

- 1) $0,3 \text{ Н}$ 2) $0,7 \text{ Н}$ 3) 1 Н 4) $1,3 \text{ Н}$

13. Однородное тело плавает, частично погрузившись в воду, если его плотность

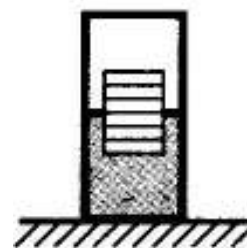
- 1) равна плотности воды 2) больше плотности воды
3) меньше плотности воды 4) меньше или равна плотности воды

14. Четыре одинаковых пластиковых листа толщиной L каждый, связанные в стопку, плавают в воде так, что уровень воды приходится на границу между двумя средними листами (см. рисунок). Если в стопку добавить ещё один такой же лист, то глубина её погружения увеличится на



- 1) $\frac{L}{4}$ 2) $\frac{L}{3}$ 3) $\frac{L}{2}$ 4) L

15. Шесть одинаковых брусков толщиной h каждый, связанные в стопку, плавают в воде так, что уровень воды приходится на границу между двумя средними брусками (см. рисунок). Если из стопки убрать два бруска, то глубина её погружения уменьшится на



- 1) h 2) $\frac{h}{2}$ 3) $\frac{h}{3}$ 4) $\frac{h}{4}$

16. В сосуде находятся три жидкости, не смешивающиеся между собой (см. рисунок). Кусочек льда, брошенный в сосуд, будет плавать на уровне



- 1) 1-1 2) 2-2 3) 3-3 4) 4-4

ОТВЕТЫ К ЗАДАЧАМ ПО ТЕМЕ «ГИДРОАЭРОСТАТИКА»

№	<i>ответ</i>	№	<i>ответ</i>	№	<i>ответ</i>	№	<i>ответ</i>
1	<i>1</i>	5	<i>2</i>	9	<i>2</i>	13	<i>3</i>
2	<i>4</i>	6	<i>1</i>	10	<i>4</i>	14	<i>3</i>
3	<i>1</i>	7	<i>4</i>	11	<i>1</i>	15	<i>1</i>
4	<i>4</i>	8	<i>2</i>	12	<i>2</i>	16	<i>3</i>

3. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

3.1. Механические колебания

Колебание – повторяющийся во времени процесс.

Периодические колебания – колебания, при которых значения величин, характеризующих колебания, повторяются через равные промежутки времени.

Период колебаний T – наименьший промежуток времени, по истечении которого повторяются значения всех величин, характеризующих колебательное движение. За один период совершается одно *полное колебание*. В системе единиц измерения СИ период измеряется в секундах: $[T]=1$ с.

Частота периодических колебаний ν – число колебаний в единицу времени:

$$\nu = \frac{1}{T}. \quad (45)$$

В системе единиц измерения СИ частота измеряется в герцах: $[\nu]=1$ с⁻¹=1 Гц.

Циклическая (круговая) частота периодических колебаний ω – число колебаний в 2π секунд:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}. \quad (46)$$

В системе единиц измерения СИ циклическая частота измеряется в радианах в секунду: $[\omega]=1$ рад/с.

Гармонические колебания – частный случай периодических колебаний, которые описываются законами синуса или косинуса.

Амплитуда колебаний колеблющейся физической величины – максимальное значение этой величины.

Незатухающие колебания – колебания с неизменной амплитудой, энергия колебаний сохраняется (идеальный случай).

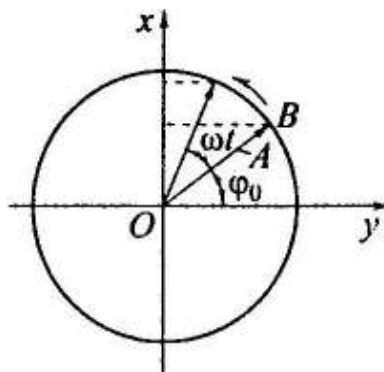
Если колебательная система после того, как ей сообщили отклонение, колеблется сама по себе, то говорят о *свободных колебаниях*.

Восстанавливающая сила F , появляющаяся при любых колебаниях, стремится вернуть систему в положение равновесия. Если система консервативна (не действуют силы сопротивления), то при колебаниях не происходит рассеяние энергии. В этом случае свободные колебания будут *незатухающими*. Незатухающие колебания – идеализированный случай колебаний.

3.1.1. Механические гармонические свободные колебания

Простейший пример гармонических колебаний – колебания *смещения* тела вдоль оси Ox (рис. 19).

Рис. 19. Колебания смещения тела вдоль оси Ox



Смещение тела от положения равновесия (*отклонение*) в момент времени t определяется по формуле:

$$x(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0), \quad (47)$$

где A – максимальное отклонение (смещение), или *амплитуда отклонения* ($A > 0$); ω – циклическая частота; $(\omega t + \varphi_0)$ – *фаза колебаний*, определяет значение x в данный момент времени; φ_0 – *начальная фаза колебаний*, фаза колебаний в момент отсчёта времени ($t=0$).

Вместо формулы (47) иногда используется выражение $x(t) = A \cos(\omega t + \varphi'_0)$, отличающееся начальной фазой $\varphi'_0 = \left(\varphi_0 - \frac{\pi}{2}\right)$.

Скорость колебаний в проекциях на ось Ox (рис. 20) определяется первой производной отклонения по времени $\dot{x}(t)$:

$$V_x(t) = \dot{x}(t) = A\omega \cos(\omega t + \varphi_0) = V_0 \cos(\omega t + \varphi_0), \quad (48)$$

где $V_0 = A\omega$ – максимальная скорость колебаний, или *амплитуда скорости*, ею обладает колеблющееся тело в момент прохождения положения равновесия. В точке максимального отклонения (точке поворота) скорость равна нулю. Фаза скорости опережает фазу отклонения на $\frac{\pi}{2}$, что видно из выражений (47) и (48) и на рис. 20.

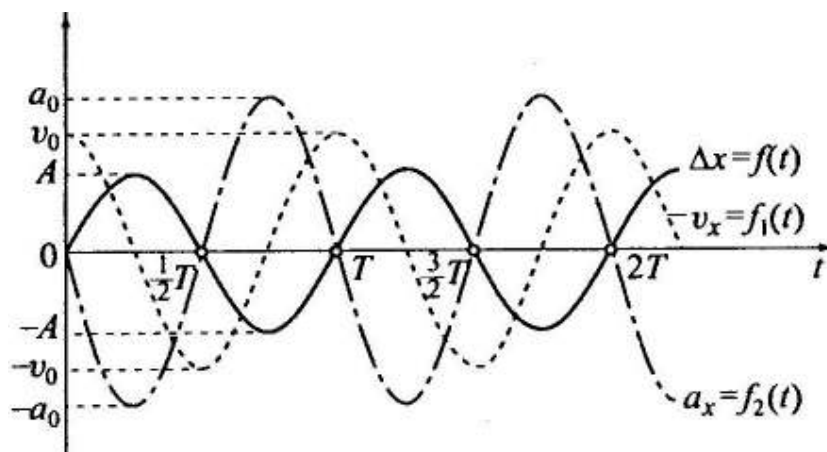
Ускорение тела определяется первой производной скорости по времени:

$$a(t) = \dot{V}(t) = \ddot{x}(t) = -A\omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0) = -a_0 \sin(\omega t + \varphi_0), \quad (49)$$

где $a_0 = A\omega^2$ – максимальное ускорение тела, или *амплитуда ускорения*.

Ускорение направлено противоположно отклонению, то есть всегда к положению равновесия. На рис. 20 видно, что колебания ускорения происходят в противофазе относительно колебаний отклонения, то есть максимуму отклонения соответствует минимум ускорения, при этом нулевые значения этих величин совпадают.

Рис. 20. Графики отклонения, скорости и ускорения

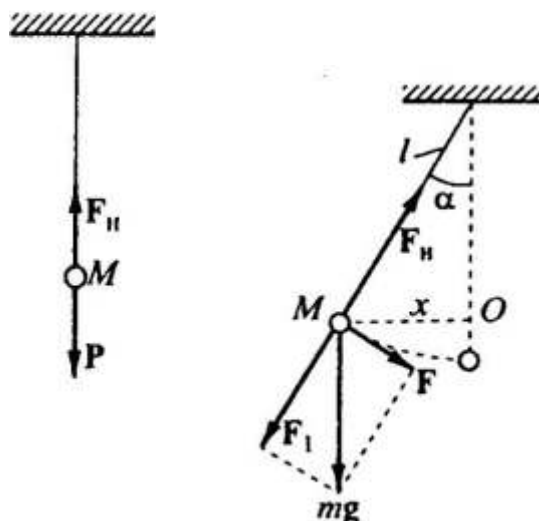


3.1.1.1. Гармонические колебания математического маятника

Математический маятник – материальная точка, подвешенная на длинной невесомой нити, совершающая малые колебания в вертикальной плоскости под действием силы тяжести $m\vec{g}$.

Математический маятник нельзя реализовать в действительности. Однако если масса нити пренебрежимо мала по сравнению с массой тела, и длина нити велика по сравнению с размерами тела, и угол отклонения колебаний маятника не превышает $\approx 8^\circ$, то колебания такого маятника можно считать приближённо гармоническими.

Рис. 21. Схематическое представление математического маятника: слева – в состоянии покоя; справа – в состоянии малых колебаний в вертикальной плоскости



В состоянии равновесия сила тяжести, действующая на подвешенную материальную точку, уравнивается силой натяжения нити (рис. 21):

$$mg = F_{\text{н}}. \quad (50)$$

Выведенный из состояния равновесия путём отклонения на малый угол α маятник будет совершать колебания под действием возвращающей силы \vec{F} , являющейся составляющей силы тяжести маятника:

$$F = mgsin\alpha. \quad (51)$$

При малых углах отклонения $\sin \alpha \approx \alpha = \frac{x}{l}$, где l – длина нити.

Направления смещения x и возвращающей силы F противоположны, то есть:

$$F = -mg \frac{x}{l}. \quad (52)$$

Следуя II закону Ньютона, получим:

$$ma = -mg \frac{x}{l} \Rightarrow a = -\frac{g}{l} x = -\omega^2 x, \quad (53)$$

где a – ускорение материальной точки.

Приходим к уравнению незатухающих гармонических колебаний:

$$\ddot{x} + \omega^2 x = 0, \quad (54)$$

где циклическая частота колебаний математического маятника ω определяется выражением:

$$\omega^2 = \frac{g}{l} \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{g}{l}}. \quad (55)$$

Период колебаний математического маятника:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}. \quad (56)$$

3.1.1.2. Гармонические колебания пружинного маятника

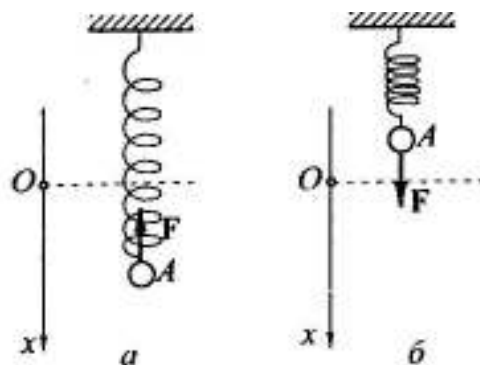
Пружинный маятник – тело массой m , закреплённое на невесомой пружине жёсткостью k , совершающее свободные колебания, обусловленные силой упругости пружины (возвращающая сила), определяемой законом Гука: $F_y = -kx$, где x – удлинение пружины.

В состоянии равновесия сила тяжести, действующая, например, на вертикальный пружинный маятник, уравновешивается силой упругости:

$$mg = F_y, \quad (57)$$

где m – масса тела пружинного маятника. Выведенный из состояния равновесия путём вертикального малого смещения маятник будет совершать колебания под действием возвращающей силы упругости, направленной противоположно смещению маятника, к положению равновесия (рис. 22).

Рис. 22. Схематическое представление колебаний пружинного маятника с амплитудой колебаний A



Согласно II закону Ньютона:

$$F_y = ma \Rightarrow -kx = ma, \quad (58)$$

где a – ускорение тела пружинного маятника.

Получим уравнение незатухающих гармонических колебаний:

$$\begin{aligned} -kx &= m\dot{V} \\ -kx &= m\ddot{x} \\ \ddot{x} + \frac{k}{m}x &= 0 \\ \ddot{x} + \omega^2 x &= 0, \end{aligned} \quad (59)$$

где циклическая частота колебаний пружинного маятника ω определяется выражением:

$$\omega^2 = \frac{k}{m} \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}. \quad (60)$$

Период колебаний пружинного маятника:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}. \quad (61)$$

Жёсткость пружины, или коэффициент упругости, определяется по формуле:

$$k = m\omega^2 . \quad (62)$$

Рассмотрим полную энергию механических гармонических колебаний на примере пружинного маятника.

Кинетическая энергия колебаний (рис. 23):

$$E_k(t) = \frac{mV^2(t)}{2} = \frac{m\omega^2 A^2}{2} \sin^2(\omega t + \varphi_0) . \quad (63)$$

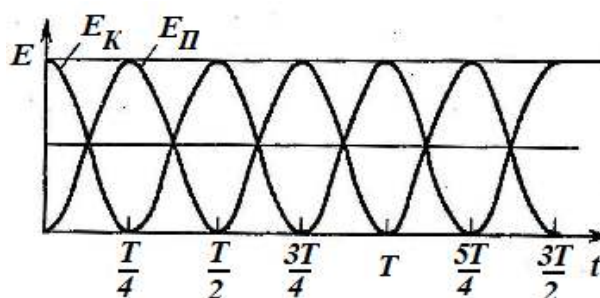
Потенциальная энергия колебаний (рис. 23):

$$E_n(t) = \frac{kx^2(t)}{2} = \frac{m\omega^2 A^2}{2} \cos^2(\omega t + \varphi_0) . \quad (64)$$

Полная энергия колебаний:

$$E(t) = E_k(t) + E_n(t) = \frac{m\omega^2 A^2}{2} [\sin^2(\omega t + \varphi_0) + \cos^2(\omega t + \varphi_0)] = \frac{m\omega^2 A^2}{2} . \quad (65)$$

Рис. 23. Графики энергии колебаний



3.1.2. Механические вынужденные колебания

Если на систему с помощью связи действует извне периодическая сила, вызывающая колебания системы, то говорят о *вынужденных колебаниях*.

Резонанс – это явление резкого возрастания амплитуды колебаний системы при совпадении частоты внешних и внутренних колебаний.

3.2. Механические (упругие) волны

Упругая среда – среда, между частицами которой существуют силы взаимодействия, препятствующие деформации этой среды.

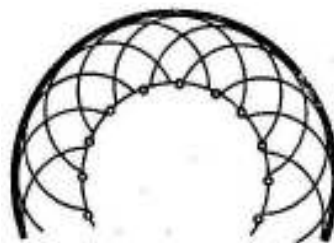
Волна – процесс распространения колебаний.

Механическая волна – колебательный процесс в упругой среде, состоящей из большого числа связанных друг с другом частиц, совершающих колебания.

Источники упругих волн – тела, вызывающие возмущения (деформации) в упругой среде.

Согласно *принципу Гюйгенса*, каждая точка среды, вовлечённая в волновое движение, становится источником новой волны – *элементарной волны* (рис. 24).

Рис. 24. Схематическое изображение распространения волны. Точками представлены источники элементарных волн, более тёмным цветом – волновой фронт



Волновой фронт – результат сложения множества элементарных волн (рис. 24). Скорость распространения волны называется *фазовой скоростью*.

Типы волн

Поперечная волна – волна, в которой колебания частиц совершаются в направлении, перпендикулярном фазовой скорости распространения волны (рис. 25). У поперечных волн происходит чередование *горбов* и *впадин*.

Продольная волна – волна, в которой колебания частиц совершаются в направлении фазовой скорости распространения волны (рис. 25). У продольных волн происходит чередование *сгущений* и *разрежений*.

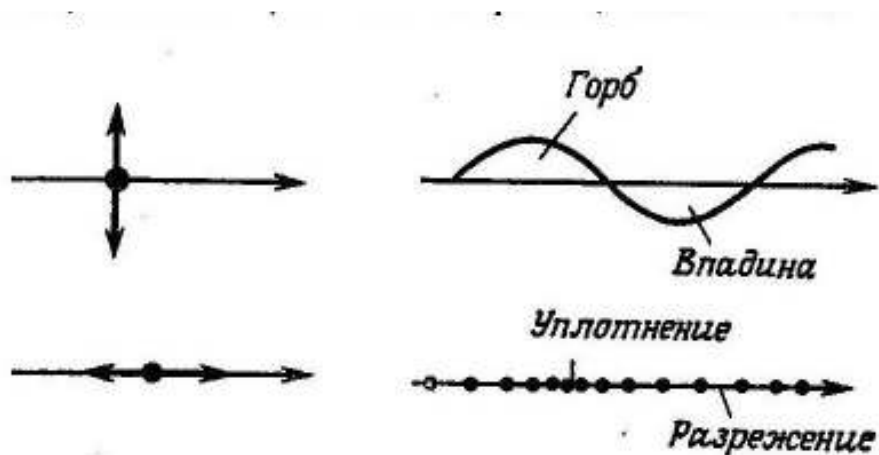


Рис. 25. Схематическое представление поперечных (вверху) и продольных волн (внизу)

По характеру распространения различают *линейные* (одномерные), *поверхностные* (двумерные) и *пространственные* (трёхмерные) волны.

Луч – направление распространения волны. Волновой фронт перпендикулярен лучу.

Волновой фронт – геометрическое место частиц, колеблющихся с одинаковой фазой. У поверхностных и пространственных волн, распространяющихся от точечного источника, лучи направлены радиально (рис. 26, слева).

От плоского или удалённого источника возникают плоские волны (рис. 26, справа).

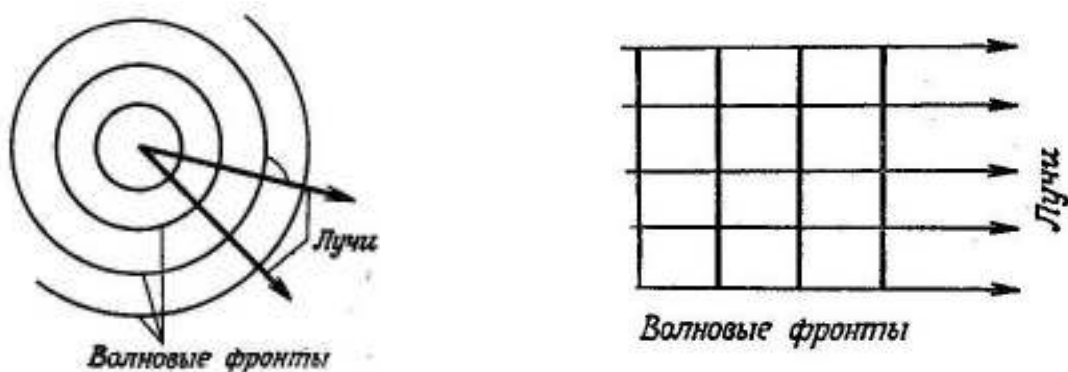
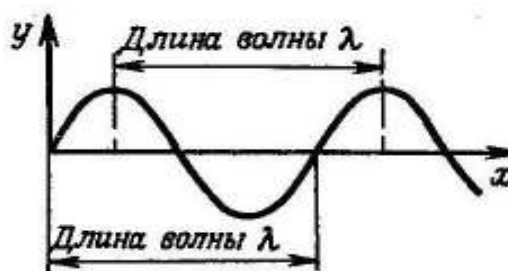


Рис. 26. Схематическое представление волновых фронтов волн

Расстояния между соседними волновыми фронтами равны *длине волны*.

Рис. 27. Схематическое представление длины волны



Длина волны – минимальное расстояние между частицами, колеблющимися в одной фазе (рис. 27). Длина волны не зависит ни от координаты, ни от времени.

Фазовая скорость, или скорость распространения волны, определяется по формуле:

$$V_{\phi} = \lambda \cdot \nu, \quad (66)$$

где λ – длина волны; ν – частота колебаний частиц в волне.

При переходе волны из одной среды в другую фазовая скорость меняется. В более плотной упругой среде фазовая скорость больше. Изменяется длина волны, частота остаётся неизменной.

Примеры задач с решениями

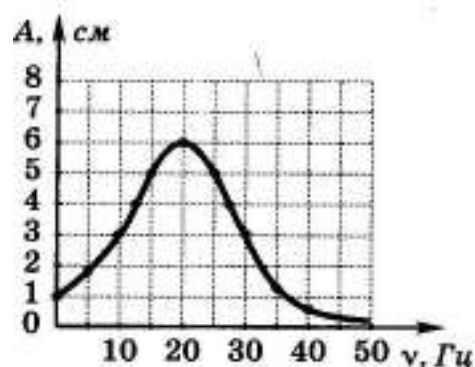
1. Период колебаний математического маятника равен 2 с. При этом на широте г. Архангельска длина нити маятника составляет 0,9973 м, а на широте г. Лондона – 0,9952 м. Определите ускорение силы тяжести Земли на этих широтах.

<i>Дано:</i>	<i>Решение:</i>
$l_1=0,9973$ м $l_2=0,9952$ м	Согласно (56) период колебаний математического маятника равен: $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} .$
$g_1 - ?$ $g_2 - ?$	Выразим ускорение свободного падения: $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} .$ Определим ускорения на соответствующих широтах: $g_1 \approx \frac{4 \cdot (3,1416)^2 \cdot 0,9973}{2^2} \approx 9,8430 \text{ (м/с}^2\text{)},$ $g_2 \approx \frac{4 \cdot (3,1416)^2 \cdot 0,9952}{2^2} \approx 9,8223 \text{ (м/с}^2\text{)}.$
<i>Ответ:</i> $g_1 \approx 9,8430 \text{ м/с}^2, g_2 \approx 9,8223 \text{ м/с}^2.$	

2. Пружина под действием груза растягивается на 6 см. Определите период гармонических колебаний груза на пружине.

<i>Дано:</i>	<i>Решение:</i>
$x=6 \cdot 10^{-2}$ м	В состоянии равновесия маятника: $kx = mg.$ Период колебаний пружинного маятника, согласно (61):
$T - ?$	$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi \sqrt{\frac{mg}{kg}} = 2\pi \sqrt{\frac{kx}{kg}} = 2\pi \sqrt{\frac{x}{g}}.$ Вычислим период колебаний: $T \approx 2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{\frac{6 \cdot 10^{-2}}{10}} \approx 0,48 \text{ с.}$
<i>Ответ:</i> $T \approx 0,48$ с.	

3. По зависимости амплитуды A вынужденных колебаний от частоты ν колебаний внешней силы определите резонансную частоту колебаний и амплитуду колебаний при резонансе.



Решение. На зависимости видно, что резкое возрастание амплитуды колебаний произошло на частоте 20 Гц, следовательно, согласно определению резонанса, это резонансная частота. Ей соответствует амплитуда колебаний $A=6$ см.

Ответ: $\nu_{\text{РЕЗ}}=20$ Гц, $A=6$ см.

4. Определить частоту звуковых волн в стали, если расстояние между ближайшими точками звуковой волны, колебания которых отличаются по фазе на 180° , равно 3.18 м. Скорость звука в стали 5 км/с.

<i>Дано:</i>	<i>Решение:</i>
$\Delta\varphi=180^\circ$, $l=3,18$ м, $V_\Phi=5000$ м/с.	Длине волны соответствует сдвиг фаз, равный 360° , что в 2 раза больше $\Delta\varphi$, следовательно: $\lambda=2\cdot l$. Используя выражение для фазовой скорости (22), получим:
$N - ?$	
	$V_\Phi = \lambda \cdot \nu \Leftrightarrow \nu = \frac{V_\Phi}{\lambda} = \frac{V_\Phi}{2 \cdot l}$ Определим частоту колебаний в волне:
	$\nu = \frac{V_\Phi}{2 \cdot l} = \frac{5000}{2 \cdot 3,18} \approx 789 \text{ (Гц)}.$
<i>Ответ:</i> $\nu \approx 789$ (Гц).	

5. Во сколько раз изменится длина звуковой волны при переходе звука из воздуха в воду, если скорость звука в воде 1 480 м/с, в воздухе – 340 м/с?

<i>Дано:</i>	<i>Решение:</i>
$V_{\Phi 1}=340$ м/с $V_{\Phi 2}=1480$ м/с	При переходе из одной упругой среды в другую звуковая волна изменяет длину волны при неизменной частоте, получим:
$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} - ?$	
	$\frac{V_{\Phi 2}}{V_{\Phi 1}} = \frac{\nu \cdot \lambda_2}{\nu \cdot \lambda_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{1480}{340} \approx 4,35.$ При переходе звуковой волны из воздуха в воду длина волны увеличится примерно в 4,35 раза.
<i>Ответ:</i> $\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \approx 4,35$.	

Задачи для самостоятельного решения

1. Колебательное движение тела задано уравнением $x(t) = a \sin\left(bt + \frac{\pi}{2}\right)$,

где $a=5$ см, $b=3$ с⁻¹. Определите амплитуду колебаний.

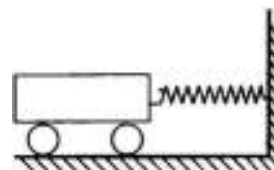
- 1) 3 см 2) 5 см 3) $\frac{\pi}{2}$ см 4) $\frac{5\pi}{2}$ см

2. Скорость тела, совершающего гармонические колебания, меняется с течением времени в соответствии с уравнением $V(t) = 3 \cdot 10^{-2} \sin 2\pi t$ (м/с).

Определите амплитуду колебаний скорости.

- 1) $3 \cdot 10^{-2}$ м/с 2) $6 \cdot 10^{-2}$ м/с 3) 2 м/с 4) 2π м/с

3. Скорость колеблющейся на пружине тележки массой 1 кг изменяется со временем по закону $V(t) = 4 \cos 10t$. Определите, какое из выражений описывает изменение кинетической энергии тележки.



- 1) $4 \sin 10t$ 2) $8 \cos^2 10t$ 3) $20 \cos^2 10t$ 4) $80 \sin^2 10t$

4. На рис. А представлен график зависимости некоторой величины X от времени t . Определите, какой из графиков (рис. Б) соответствует колебаниям, происходящим в противофазе с колебанием, изображённым на рис. А.

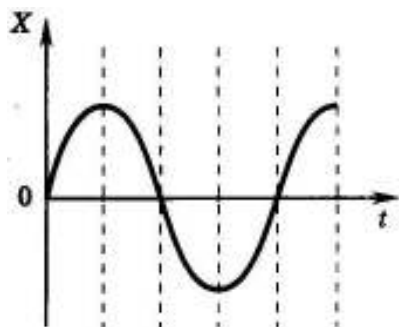


Рис. А

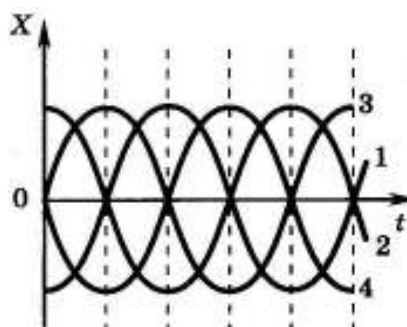


Рис. Б

- 1) 1 2) 2 3) 3 4) 4

5. Зависимости некоторых величин от времени имеют вид:

$$x_1 = 10^{-2} \sin\left(2t + \frac{\pi}{3}\right);$$

$$x_2 = 0,1 \sin(2t^2);$$

$$x_3 = 0,01 \sin(3\sqrt{t});$$

$$x_4 = 0,05t \sin\left(2t + \frac{\pi}{3}\right).$$

Какая из этих величин совершает гармоническое колебание?

1) x_1

2) x_2

3) x_3

4) x_4

6. В уравнении гармонического колебания $x(t) = A \cos(\omega t + \varphi_0)$ величина, стоящая под знаком косинуса, называется

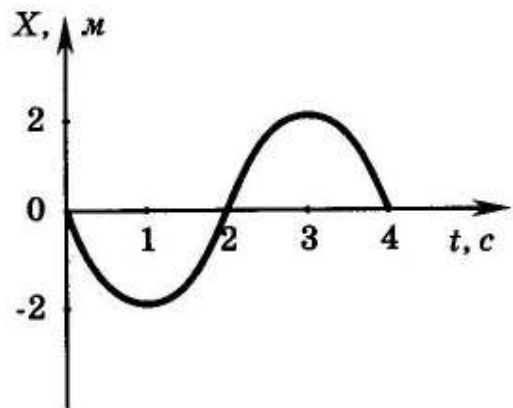
1) фазой

2) начальной фазой

3) смещением от положения равновесия

4) циклической частотой

7. Определите по графику зависимости смещения материальной точки от времени при гармонических колебаниях (см. рисунок) вид закона движения материальной точки.



1) $x = -2 \sin\left(\frac{\pi}{2}t\right)$

2) $x = -2 \sin\left(\pi t + \frac{\pi}{2}\right)$

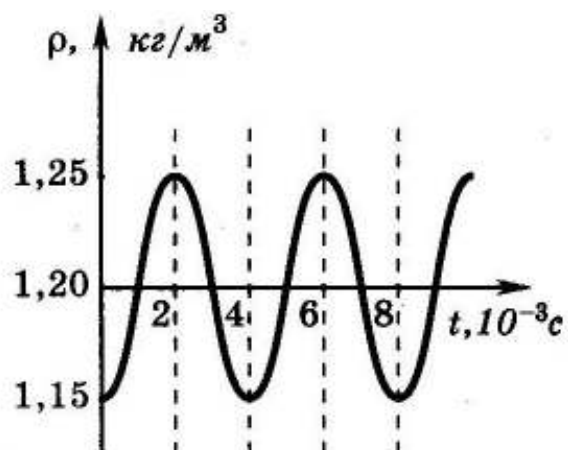
3) $x = 2 \sin\left(\pi \frac{t}{2} + \frac{\pi}{2}\right)$

4) $x = -2 \cos\left(\pi t + \frac{\pi}{3}\right)$

8. Скорость тела массой 0,1 кг изменяется в соответствии с уравнением $V_x = 0,05 \sin(10\pi t)$ (м/с). Определите импульс тела в момент времени 0,2 с.

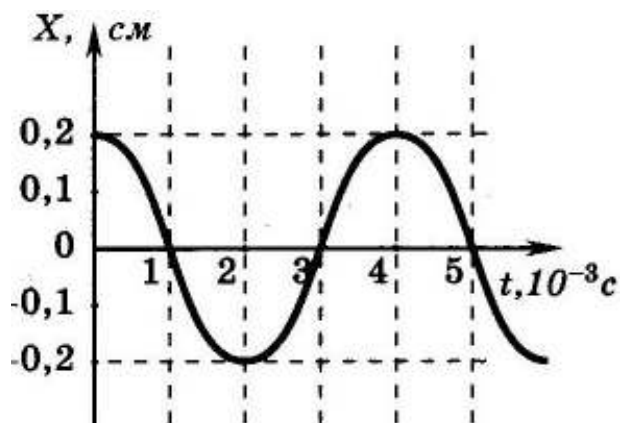
14. На рисунке представлен график зависимости плотности воздуха ρ в звуковой волне от времени t . Определите по графику амплитуду колебаний плотности воздуха.

- 1) $1,25 \text{ кг/м}^3$ 2) $1,2 \text{ кг/м}^3$
 3) $0,1 \text{ кг/м}^3$ 4) $0,05 \text{ кг/м}^3$



15. На рисунке представлен график зависимости смещения X определённой точки струны от времени t . Определите по графику амплитуду колебаний этой точки.

- 1) $0,1 \text{ см}$ 2) $0,2 \text{ см}$
 3) $0,4 \text{ см}$ 4) 4 см



16. Как изменится амплитуда колебаний пружинного маятника, если полная механическая энергия маятника увеличится в 2 раза?

- 1) увеличится в $\sqrt{2}$ раз
 2) увеличится в 2 раза
 3) уменьшится в $\sqrt{2}$ раз
 4) уменьшится в 2 раза

21. При свободных колебаниях за одно и то же время первый математический маятник совершает одно колебание, а второй – три. Нить первого маятника в

- 1) 9 раз длиннее
- 2) 3 раза длиннее
- 3) $\sqrt{3}$ раз длиннее
- 4) $\sqrt{3}$ раз короче

22. Груз массой 0,16 кг, подвешенный на лёгкой пружине, совершает свободные гармонические колебания. Какой массы груз надо подвесить к той же пружине, чтобы частота колебаний увеличилась в 2 раза?

- 1) 0,04 кг
- 2) 0,08 кг
- 3) 0,32 кг
- 4) 0,64 кг

23. Груз, подвешенный на пружине жесткостью 400 Н/м, совершает свободные гармонические колебания. Какой должна быть жесткость пружины, чтобы частота колебаний этого же груза увеличилась в 2 раза?

- 1) 1 600 Н/м
- 2) 800 Н/м
- 3) 200 Н/м
- 4) 100 Н/м

24. Если груз, подвешенный на пружине жесткостью 250 Н/м, совершает свободные гармонические колебания с циклической частотой 50 рад/с, то его масса равна

- 1) 0,1 кг
- 2) 0,3 кг
- 3) 0,4 кг
- 4) 0,5 кг

25. Если массу груза математического маятника увеличить в 4 раза, то период его свободных малых колебаний

- 1) увеличится в 4 раза
- 2) увеличится в 2 раза
- 3) уменьшится в 4 раза
- 4) не изменится

26. Выберите верное утверждение (утверждения).

Свободным является колебание...

А. груза, подвешенного к пружине, после однократного его отклонения от положения равновесия;

Б. мембраны громкоговорителя во время работы приёмника.

1) только А

2) только Б

3) А и Б

4) ни А, ни Б

27. С какой скоростью проходит положение равновесия груз пружинного маятника, имеющий массу 0,1 кг, если жёсткость пружины 10 Н/м, а амплитуда свободных гармонических колебаний 5 см?

1) 0,1 м/с

2) 0,5 м/с

3) 5 м/с

4) 10 м/с

28. Если длину математического маятника уменьшить в 4 раза, то период его свободных гармонических колебаний

1) увеличится в 2 раза

2) увеличится в 4 раза

3) уменьшится в 2 раза

4) уменьшится в 4 раза

29. Как изменится период малых колебаний математического маятника, если его длину увеличить в 4 раза?

1) увеличится в 4 раза

2) увеличится в 2 раза

3) уменьшится в 4 раза

4) уменьшится в 2 раза

30. Период колебаний потенциальной энергии пружинного маятника 1 с. Каким будет период её колебаний, если массу груза увеличить в 2 раза, а жёсткость пружины вдвое уменьшить?

1) 6 с

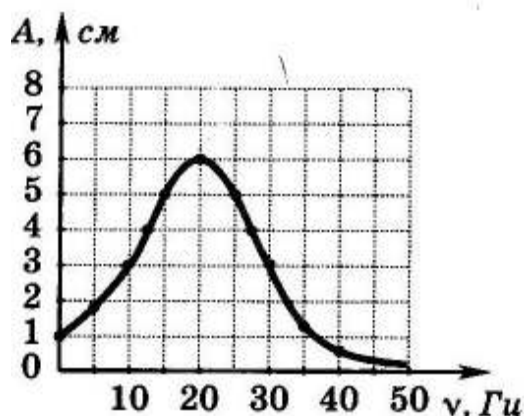
2) 2 с

3) 8 с

4) 4 с

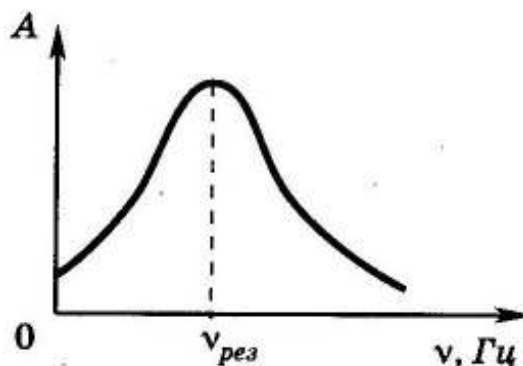
42. На рисунке представлен график зависимости амплитуды A вынужденных колебаний от частоты ν внешней силы. При резонансе амплитуда колебаний равна

- 1) 1 см 2) 2 см
3) 4 см 4) 6 см

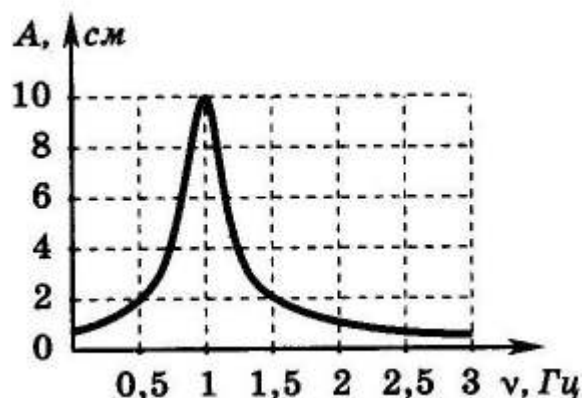


43. При совершении установившихся вынужденных колебаний маятник за период получает от источника энергию W_1 и отдаёт в окружающую среду энергию W_2 . Зависимость амплитуды колебаний от частоты внешней силы представлена на графике. При изменении частоты в интервале $0 < \nu < \nu_{рез}$ между W_1 и W_2 выполняется соотношение

- 1) $W_1 < W_2$
2) $W_1 > W_2$
3) $W_1 = W_2$
4) $W_1 < W_2$ или $W_1 > W_2$ в зависимости от частоты



44. По зависимости амплитуды установившихся колебаний маятника от частоты вынуждающей силы (резонансная кривая) определите резонансную частоту колебаний этого маятника.



- 1) 0,5 Гц 2) 1 Гц 3) 1,5 Гц 4) 10 Гц

45. Верно утверждение или утверждения:

Резонансная частота системы зависит от

А. амплитуды вынуждающей силы;

Б. частоты вынуждающей силы.

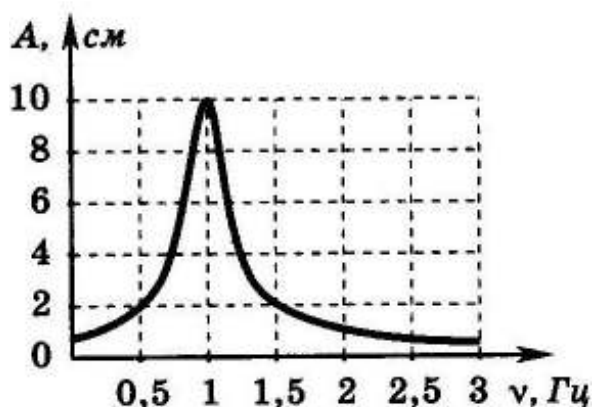
1) только А

2) только Б

3) А и Б

4) ни А, ни Б

46. По зависимости амплитуды установившихся колебаний маятника от частоты вынуждающей силы (резонансная кривая) определите отношение амплитуды колебаний маятника на резонансной частоте к амплитуде колебаний этого маятника на частоте 0,5 Гц



1) 10

2) 2

3) 5

4) 4

47. Мимо неподвижного наблюдателя за 20 с прошло 8 гребней волны.

Определите период колебаний частиц в волне.

1) 2,5 с

2) 0,4 с

3) 160 с

4) 5 с

48. Волна частотой 3 Гц распространяется в среде со скоростью 6 м/с.

Определите длину волны.

1) 1 м

2) 2 м

3) 0,5 м

4) 18 м

49. По длинному шнуру распространяется волна. В один из моментов времени форма шнура оказалась такой, как показано на рисунке. Скорость распространения колебаний по шнуру равна 2 м/с. Определите частоту колебаний.

54. Считается, что среди диапазона голосов певцов и певиц женское сопрано занимает частотный интервал от $\nu_1=250$ Гц до $\nu_2=1\ 000$ Гц. Отношение граничных длин звуковых волн $\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ этого интервала равно

- 1) 1 2) 2 3) $\frac{1}{4}$ 4) 4

55. Определите частоту колебаний звуковых волн в среде, если скорость звука в этой среде равна 500 м/с, а длина волны – 2 м.

- 1) 1000 Гц 2) 250 Гц 3) 100 Гц 4) 25 Гц

56. Для экспериментального наблюдения скорости звука хлопают в ладоши на расстоянии 30 м от стены. В момент хлопка включается электронный секундомер, который затем выключается отражённым звуком. Время, отмеченное секундомером, равно 0,18 с. Скорость звука, определённая в результате эксперимента, равна

- 1) 0,4 м/с 2) 0,8 м/с 3) 4 м/с 4) 16 м/с

57. На расстоянии 40 м от наблюдателя вбивают сваи с помощью копра. Определите время между видимым ударом молота о сваю и звуком удара, услышанного наблюдателем. Скорость звука в воздухе 330 м/с.

- 1) 1,4 с 2) 1,2 с 3) 0,9 с 4) 0,6 с

58. Массивный шарик, подвешенный на упругой пружине, совершает вертикальные гармонические колебания. Как ведут себя по модулю и по направлению векторы скорости и ускорения шарика, проходящего положение равновесия при движении вниз?

ВЕКТОР

- А) скорость шарика
Б) ускорение шарика

МОДУЛЬ И НАПРАВЛЕНИЕ

- 1) достигает максимума, вверх
2) достигает максимума, вниз
3) равняется нулю

А	Б

59. Груз массой m , подвешенный к пружине, совершает колебания с периодом T и амплитудой x_0 . Как изменятся период, максимальная потенциальная энергия пружины и частота колебаний, если массу груза уменьшить при неизменной амплитуде колебаний?

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

ИХ ИЗМЕНЕНИЕ

А) период

1) увеличится

Б) частота

2) уменьшится

В) максимальная потенциальная энергия пружины

3) не изменится

А	Б	В

60. Подвешенный на пружине груз совершает вынужденные гармонические колебания под действием силы, меняющейся с частотой ν . Установите соответствие между физическими величинами, характеризующими этот процесс, и частотой их изменения.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

ЧАСТОТА ИЗМЕНЕНИЯ

А) кинетическая энергия

1) $\frac{\nu}{2}$

Б) скорость

2) ν

В) потенциальная энергия

3) 2ν

А	Б	В

ОТВЕТЫ К ЗАДАЧАМ ПО ТЕМЕ «МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ»

№	<i>ответ</i>	№	<i>ответ</i>	№	<i>ответ</i>	№	<i>ответ</i>	№	<i>ответ</i>
1	<i>2</i>	13	<i>4</i>	25	<i>4</i>	37	<i>2</i>	49	<i>4</i>
2	<i>1</i>	14	<i>4</i>	26	<i>1</i>	38	<i>1</i>	50	<i>3</i>
3	<i>2</i>	15	<i>2</i>	27	<i>2</i>	39	<i>1</i>	51	<i>1</i>
4	<i>4</i>	16	<i>1</i>	28	<i>3</i>	40	<i>0,125</i>	52	<i>3</i>
5	<i>1</i>	17	<i>4</i>	29	<i>2</i>	41	<i>0,01</i>	53	<i>4</i>
6	<i>1</i>	18	<i>2</i>	30	<i>2</i>	42	<i>4</i>	54	<i>4</i>
7	<i>1</i>	19	<i>3</i>	31	<i>1</i>	43	<i>3</i>	55	<i>2</i>
8	<i>1</i>	20	<i>1</i>	32	<i>2</i>	44	<i>2</i>	56	<i>2</i>
9	<i>2</i>	21	<i>1</i>	33	<i>1</i>	45	<i>2</i>	57	<i>2</i>
10	<i>3</i>	22	<i>1</i>	34	<i>4</i>	46	<i>3</i>	58	<i>23</i>
11	<i>1</i>	23	<i>1</i>	35	<i>1</i>	47	<i>1</i>	59	<i>213</i>
12	<i>2</i>	24	<i>1</i>	36	<i>4</i>	48	<i>2</i>	60	<i>323</i>

**Задачи с развёрнутыми ответами
к части II учебного пособия «Механика»**

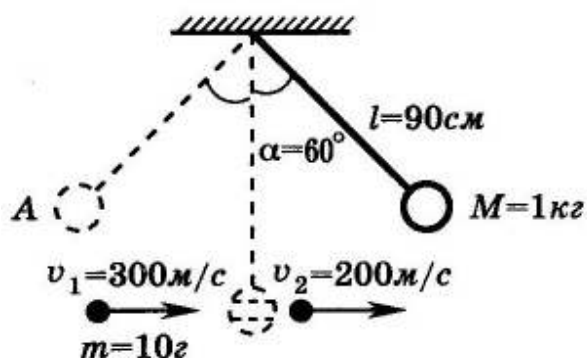
1. Брусок массой $m_1=500$ г соскальзывает по наклонной плоскости с высоты $h=0,8$ м и , двигаясь по горизонтальной поверхности, сталкивается с неподвижным бруском массой $m_2=300$ г. Считая столкновение абсолютно неупругим, определите общую кинетическую энергию брусков после столкновения. Трением при движении пренебречь. Считать, что наклонная плоскость плавно переходит в горизонтальную.

Ответ: $E_K=2,5$ Дж.

2. Брусок массой $m_1=500$ г соскальзывает по наклонной плоскости с высоты $h=0,8$ м и , двигаясь по горизонтальной поверхности, сталкивается с неподвижным бруском массой $m_2=300$ г. Считая столкновение абсолютно неупругим, определите изменение кинетической энергии первого бруска в результате столкновения. Трением при движении пренебречь. Считать, что наклонная плоскость плавно переходит в горизонтальную.

Ответ: $\Delta E \approx -2,44$ Дж.

3. Шар, подвешенный на нити длиной 90 см, отводят от положения равновесия на угол 60° и отпускают (см. рисунок). В момент прохождения положения равновесия в шар попадает пуля массой 10 г, летящая навстречу

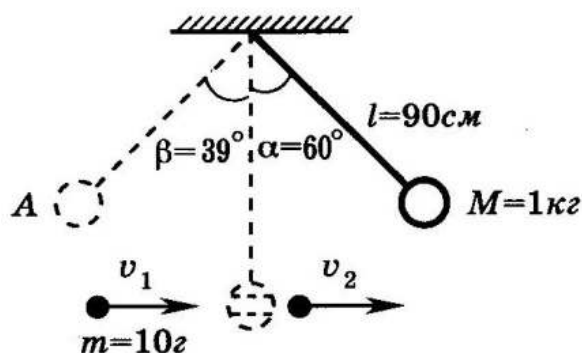


со скоростью 300 м/с. Пробив шар, пуля вылетает горизонтально со скоростью 200 м/с, после чего шар продолжает двигаться в прежнем направлении. Определите, на какой максимальный угол отклонится шар после попадания в него пули. Масса шара 1 кг. (Массу шара можно считать неизменной, диаметр

шара мал по сравнению с длиной нити).

Ответ: $\beta = \arccos(7/9) \approx 39^\circ$.

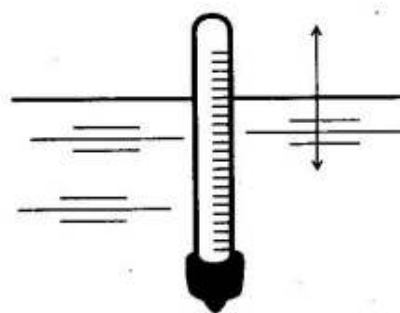
4. Шар массой 1 кг, подвешенный на нити длиной 90 см, отводят от положения равновесия на угол 60° и отпускают (см. рисунок). В момент прохождения равновесия в шар попадает пуля массой 10 г, летящая навстречу шару. Пуля пробивает шар и продолжает двигаться горизонтально. Определите,



изменение скорости пули в результате попадания в шар, если он, продолжая движение в прежнем направлении, отклоняется на угол 39° . (Массу шара можно считать неизменной, диаметр шара мал по сравнению с длиной нити, $\cos 39^\circ = \frac{7}{9}$).

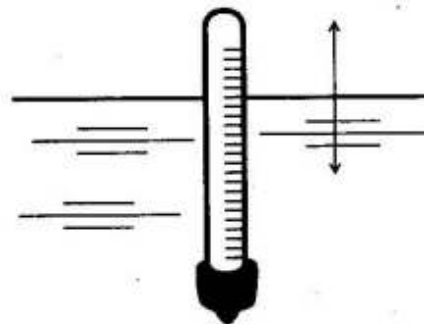
Ответ: $\Delta V = 100$ м/с.

5. Ареометр, погружённый в жидкость, совершает вертикальные гармонические колебания с малой амплитудой (см. рисунок). Определите период этих колебаний. Масса ареометра равна 40 г, радиус его трубки 2 мм, плотность жидкости $0,8$ г/см³. Сопротивление жидкости пренебрежимо мало. (Ареометр — прибор для измерения плотности жидкостей, принцип работы которого основан на законе Архимеда).



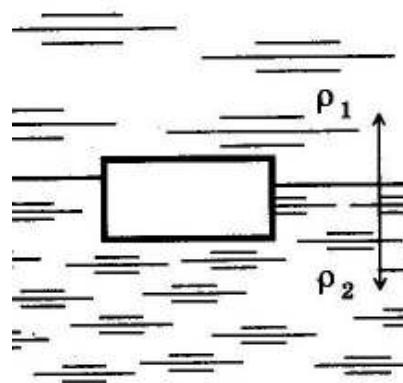
Ответ: $T = 4$ с.

6. Ареометр, погружённый в жидкость, совершает вертикальные гармонические колебания с частотой 0,2 Гц (см. рисунок). Определите период этих колебаний. Площадь сечения трубки ареометра 10 мм^2 , масса ареометра равна 50 г, радиус его трубки 2 мм, плотность жидкости $0,8 \text{ г/см}^3$. Пренебрегая сопротивлением жидкости, найдите её плотность.



Ответ: $\rho=790 \text{ кг/м}^3$.

7. Однородный брусок с площадью поперечного сечения 10^{-2} м^2 плавает на границе несмешивающихся жидкостей с плотностями 800 кг/м^3 и 1000 кг/м^3 (см. рисунок). Пренебрегая сопротивлением жидкостей, определите массу бруска, если период его малых колебаний равен $\frac{\pi}{5} \text{ с}$.



Ответ: $m=0,2 \text{ кг}$.

8. На космическом аппарате, находящемся вдали от Земли, начал работать реактивный двигатель. Из сопла ракеты ежесекундно выбрасывается 2 кг газа ($\frac{\Delta m}{\Delta t}=2 \text{ кг/с}$) со скоростью 500 м/с. Исходная масса аппарата 500 кг. Определите скорость аппарата через 6 с после старта. Начальная скорость аппарата принимается равной нулю, изменение массы аппарата за время движения не учитывается.

Ответ: $V=12 \text{ м/с}$.

9. На космическом аппарате, находящемся вдали от Земли, начал работать реактивный двигатель. Из сопла ракеты каждую секунду выбрасывается 2 кг газа ($\frac{\Delta m}{\Delta t}=2$ кг/с) со скоростью 500 м/с. Определите исходную массу аппарата, если через 8 с после старта он прошёл расстояние 64 м. Начальная скорость аппарата принимается равной нулю, изменение массы аппарата за время движения не учитывается.

Ответ: $M=500$ кг.

10. Начальная скорость снаряда, выпущенного из пушки вертикально вверх, равна 200 м/с. В точке максимального подъёма снаряд разорвался на два одинаковых осколка. Первый упал на землю вблизи точки выстрела, имея скорость в 2 раза больше начальной скорости снаряда. Определите, на какую максимальную высоту поднялся второй осколок. Сопротивление воздуха пренебрежимо мало.

Ответ: $h_{\max}=8\ 000$ м.

11. Начальная скорость снаряда, выпущенного из пушки вертикально вверх, равна 300 м/с. В точке максимального подъёма снаряд разорвался на два осколка. Первый осколок массой m_1 упал на землю вблизи точки выстрела, имея скорость в 2 раза больше начальной скорости снаряда. Второй осколок массой m_2 имел у поверхности земли скорость 600 м/с. Определите отношение масс $\frac{m_2}{m_1}$ осколков. Сопротивление воздуха пренебрежимо мало.

Ответ: $\frac{m_2}{m_1}=1$.

12. Масса Марса составляет 0,1 от массы Земли, диаметр Марса вдвое меньше диаметра Земли. Определите отношение периодов обращения

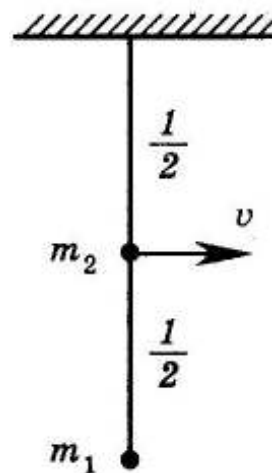
искусственных спутников Марса и Земли $\frac{T_M}{T_3}$, движущихся на небольшой высоте по круговым орбитам.

Ответ: $\frac{T_M}{T_3} = \sqrt{1,25} \approx 1,1$.

13. По горизонтальной дороге мальчик тянет сани массой 30 кг за верёвку, направленную под углом 60° к плоскости дороги, с силой 100 Н. Коэффициент трения поверхностей равен 0,12. Определите ускорение саней, путь, пройденный санями за 5 с, если начальная скорость саней была равна нулю.

Ответ: $a=0,8 \text{ м/с}^2$, $S=10 \text{ м}$.

14. Грузики с точечными массами $m_1=0,25 \text{ кг}$ и $m_2=0,5 \text{ кг}$ прикреплены к невесомому стержню длиной $l=1 \text{ м}$ (см. рисунок). Стержень может вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через точку подвеса стержня. Грузик с массой m_2 в нижней точке своей траектории имеет скорость $V=2 \text{ м/с}$. Определите силу, с которой стержень действует на грузик с массой m_1 в этот момент времени.



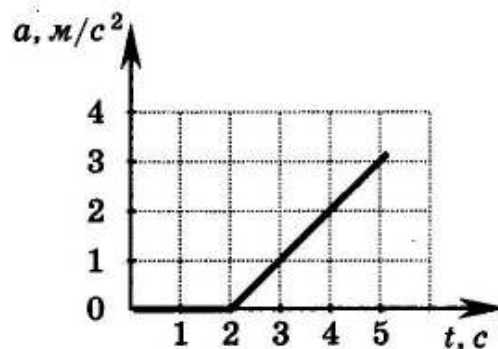
Ответ: $T=6,5 \text{ Н}$.

15. Грузовой автомобиль массой $M=4 \text{ т}$ с двумя ведущими осями тянет за нерастяжимый трос вверх по склону легковой автомобиль массой $m=1 \text{ т}$, у которого выключен двигатель. Определите, с каким максимальным ускорением могут двигаться автомобили, если угол уклона составляет $\alpha=\arcsin 0,1$. Коэффициент трения между шинами грузового автомобиля и дорогой $\mu=0,2$.

Сила трения качения, действующая на легковой автомобиль, пренебрежимо мала. Масса колёс не учитывается.

Ответ: $a=0,6$ м/с.

16. К покоящемуся на горизонтальной поверхности телу приложена нарастающая с течением времени горизонтальная сила тяги $F=bt$, где b – постоянная величина. На рисунке представлена зависимость ускорения тела от времени действия силы. Определите коэффициент трения скольжения тела.



Ответ: $\mu=0,2$.

17. Определите массу груза, который нужно сбросить с аэростата массой 1 100 кг, движущегося равномерно вниз, чтобы аэростат стал двигаться с такой же по модулю скоростью вверх. Сила Архимеда, действующая на аэростат, равна 10^4 Н. Силу сопротивления воздуха при подъёме и спуске считайте одинаковой.

Ответ: $m_Г=200$ кг.

18. Брусок массой $m_1=600$ г, движущийся со скоростью 2 м/с, сталкивается с неподвижным бруском массой $m_2=200$ г. Определите скорость первого бруска после столкновения. Удар – центральный, абсолютно упругий.

Ответ: $V_1'=1$ м/с.

19. Шарик скользит без трения по наклонному желобу, затем движется по «мёртвой петле» радиусом R . Определите силу, с которой шарик давит на

желоб в нижней точке петли, если масса шарика равна 100 г, высота, с которой его отпускают, равна $4R$.

Ответ: $F_n=9$ Н.

20. Брусок массой $m_1=600$ г, движущийся со скоростью 2 м/с, сталкивается с неподвижным бруском массой $m_2=200$ г. Определите скорость второго бруска после столкновения. Удар – центральный, абсолютно упругий.

Ответ: $V_2'=3$ м/с.

21. Два шарика, массы которых 200 г и 600 г, висят, соприкасаясь, на одинаковых нитях длиной 80 см. Первый шар отклонили на угол 90° и отпустили. Определите, на какую высоту поднимутся шарики после удара, если этот удар абсолютно неупругий.

Ответ: $h=0,5$ м.

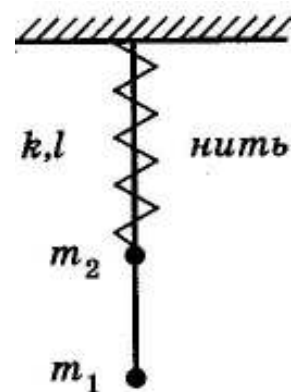
22. От удара копра массой 450 кг, падающего свободно с высоты 5 м, свая массой 150 кг погружается в грунт на 10 см. Определите силу сопротивления грунта, считая её постоянной, а удар – абсолютно неупругим. При расчётах изменением потенциальной энергии сваи пренебречь.

Ответ: $F_c=168\ 750$ Н ≈ 170 кН.

23. На одном конце тележки длиной 5 м стоит человек массой 40 кг. Масса тележки 60 кг. На какое расстояние относительно пола передвинется тележка, если человек перейдёт с постоянной скоростью на другой её конец? (Массой колёс и трением пренебречь.)

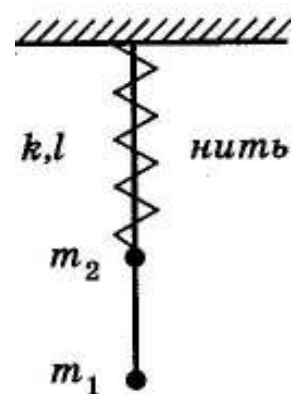
Ответ: $S=2$ м.

24. Материальные точки массами $m_1=100$ г и $m_2=200$ г соединены невесомым стержнем, как показано на рисунке. К точке m_2 прикреплена невесомая пружина жесткостью $k=30$ Н/м, верхний конец которого закреплён. Длина пружины в недеформированном состоянии $l_0=20$ см. В начальный момент времени концы пружины связаны нитью длиной $l=10$ см. Определите силу реакции стержня, действующую на массу m_1 сразу после пережигания нити.



Ответ: $T=1$ Н.

25. Материальные точки массами $m_1=100$ г и $m_2=200$ г соединены невесомым стержнем, как показано на рисунке. К точке m_2 прикреплена невесомая пружина жесткостью $k=30$ Н/м, верхний конец которого закреплён. Длина пружины в недеформированном состоянии $l_0=20$ см. В начальный момент времени концы пружины связаны нитью длиной $l=10$ см. Определите силу реакции стержня, действующую на массу m_2 сразу после пережигания нити.

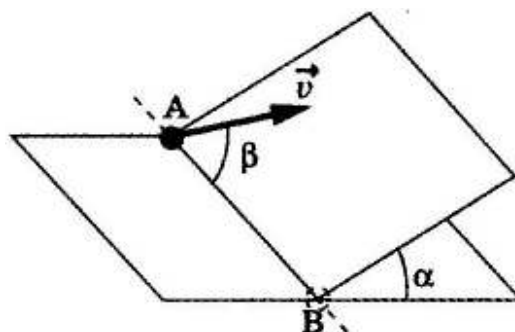


Ответ: $T=2$ Н.

26. Тяжёлый мячик отпустили без начальной скорости с высоты 20 м, при ударе о землю он потерял часть своей кинетической энергии и долетел до верхней точки за 3 с после начала движения. Определите, какая часть кинетической энергии перешла в тепло при ударе. Сопротивление воздуха пренебрежимо мало.

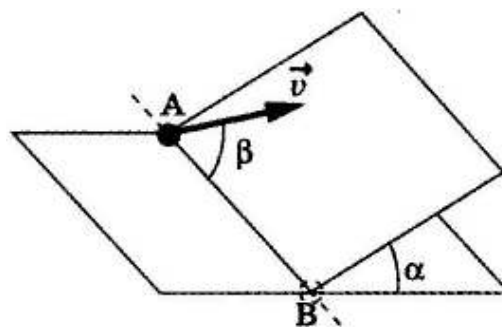
Ответ: $\eta=0,75$.

27. Наклонная плоскость пересекается с горизонтальной плоскостью по прямой AB (см. рисунок). Угол между плоскостями $\alpha=30^\circ$. Маленькая шайба начинает движение вверх по наклонной плоскости из точки A с начальной скоростью 2 м/с под углом $\beta=60^\circ$ к прямой AB . В ходе движения шайба съезжает на прямую AB в точке B . Пренебрегая трением между шайбой и наклонной плоскостью, найдите расстояние AB .



Ответ: $AB = \frac{2\sqrt{3}}{5} \text{ м}$.

28. Наклонная плоскость пересекается с горизонтальной плоскостью по прямой AB (см. рисунок). Угол между плоскостями $\alpha=30^\circ$. Маленькая шайба начинает движение вверх по наклонной плоскости из точки A с начальной скоростью 2 м/с под углом $\beta=60^\circ$ к прямой AB . Пренебрегая трением между шайбой и наклонной плоскостью, найдите максимальное расстояние, на которое удалится шайба от прямой AB в ходе подъёма по наклонной плоскости.



Ответ: $h_{\max} = 0,3 \text{ м}$.

29. Пуля летит горизонтально со скоростью $V_0=150 \text{ м/с}$, пробивает стоящий на горизонтальной поверхности льда брусок и продолжает двигаться в прежнем направлении со скоростью $\frac{V_0}{3}$. Масса бруска в 10 раз больше массы пули. Коэффициент трения скольжения между льдом и бруском $\mu=0,1$. Определите расстояние, на которое переместится брусок к моменту уменьшения его скорости на 10 %.

Ответ: $S=9,5 \text{ м}$.

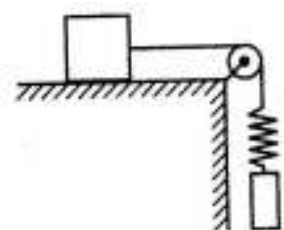
30. Пуля летит горизонтально со скоростью $V_0=160$ м/с, пробивает стоящую на горизонтальной шероховатой поверхности коробку и продолжает двигаться в прежнем направлении со скоростью $\frac{V_0}{4}$. Масса коробки в 12 раз больше массы пули. Коэффициент трения скольжения между коробкой и поверхностью $\mu=0,3$. Определите расстояние, на которое переместится коробка к моменту уменьшения её скорости на 20 %.

Ответ: $S=6$ м.

31. Кусок пластилина сталкивается со скользящим навстречу по горизонтальной поверхности стола бруском и прилипает к нему. Скорости пластилина и бруска направлены противоположно и равны $V_{Пл}=15$ м/с и $V_{БР}=5$ м/с. Масса бруска в 4 раза больше массы пластилина. Коэффициент трения скольжения между столом и бруском $\mu=0,17$. Определите расстояние, на которое переместится брусок с прилипшим к нему пластилином, к моменту уменьшения их скорости на 30 %.

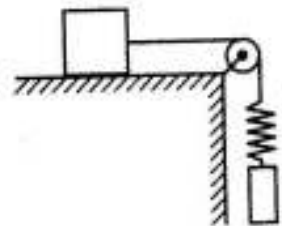
Ответ: $S=0,15$ м.

32. Брусок, покоящийся на горизонтальном столе, и пружинный маятник, состоящий из грузика и лёгкой пружины, связаны лёгкой нерастяжимой нитью, перекинутой через идеальный неподвижный блок (см. рисунок). Коэффициент трения между столом и бруском равен 0,2. Отношение массы бруска к массе грузика равно 8. Грузик маятника совершает колебания с периодом 0,5 с вдоль вертикали, совпадающей с вертикальным отрезком нити. Определите максимально возможную амплитуду этих колебаний, при которой они остаются гармоническими.



Ответ: $x_{max}=3,75$ см.

33. Брусок, покоящийся на горизонтальном столе, и пружинный маятник, состоящий из грузика и лёгкой пружины, связаны лёгкой нерастяжимой нитью, перекинутой через идеальный неподвижный блок (см. рис.).



Коэффициент трения между столом и бруском равен 0,2. Отношение массы бруска к массе грузика равно 8. Грузик маятника совершает колебания вдоль вертикали, совпадающей с вертикальным отрезком нити. Максимально возможная амплитуда этих колебаний, при которой они остаются гармоническими, равна 1,5 см. Определите период этих гармонических колебаний.

Ответ: $T \approx 0,31$ с.

34. Тело, свободно падающее с некоторой высоты, первый участок пути проходит за время $\tau = 1$ с, а такой же последний – за время $\frac{\tau}{2}$. Найдите полное время падения тела, если начальная скорость тела равна нулю.

Ответ: $t = 1,25$ с.

35. Тело, свободно падающее с некоторой высоты без начальной скорости, за время $\tau = 1$ с после начала движения проходит путь в 5 раз меньший, чем за такой же промежуток времени в конце движения. Найдите полное время падения тела.

Ответ: $t = 3$ с.

36. Средняя плотность некоторой планеты равна средней плотности Земли, первая космическая скорость для этой планеты в 2 раза больше, чем для Земли. Определите отношение периодов обращения одинаковых спутников

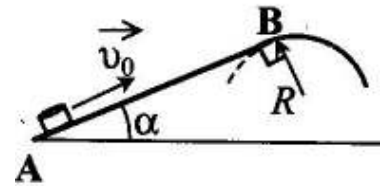
вокруг данной планеты и вокруг Земли на низких орбитах. Объём шара пропорционален кубу его радиуса: $V \sim R^3$.

Ответ: $\frac{T_{II}}{T_3} = 1$.

37. Маленький шарик падает сверху на наклонную плоскость и упруго отражается от неё. Угол наклона плоскости к горизонту равен 30° . На какое расстояние по горизонтали перемещается шарик между первым и вторым ударами о плоскость? Скорость шарика в момент первого удара направлена вертикально вниз и равна 1 м/с .

Ответ: $l \approx 0,173 \text{ м}$.

38. Небольшая шайба после удара скользит вверх по наклонной плоскости из точки А (см. рис.). В точке В наклонная плоскость без излома переходит в наружную поверхность горизонтальной трубы



радиусом R . Если в точке А скорость шайбы превосходит $V_0 = 4 \text{ м/с}$, то в точке В шайба отрывается от опоры. Длина наклонной плоскости $AB = 1 \text{ м}$, угол $\alpha = 30^\circ$. Коэффициент трения между наклонной плоскостью и шайбой $\mu = 0,2$. Найдите внешний радиус трубы.

Ответ: $R \approx 0,3 \text{ м}$.

39. Из пружинного пистолета выстрелили вертикально вниз в мишень, находящуюся на расстоянии 2 м от него. Совершив работу $0,12 \text{ Дж}$, пуля застряла в мишени. Определите массу пули, если перед выстрелом пружина была сжата на 2 см , а её жёсткость равна 100 Н/м .

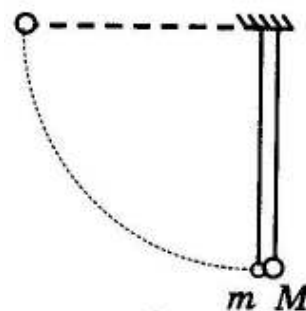
Ответ: $m = 5 \text{ г}$.

40. На гладкой горизонтальной плоскости находится длинная доска массой $M=2$ кг. По доске скользит шайба массой $m=0,5$ кг. Коэффициент трения между шайбой и доской $0,2$. В начальный момент скорость шайбы $V_0=2$ м/с, а доска покоится. Сколько времени потребуется для того, чтобы шайба перестала скользить по доске?



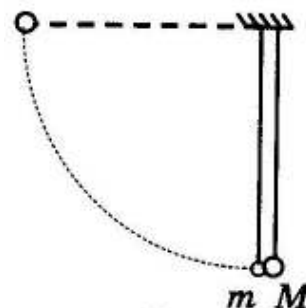
Ответ: $t=0,8$ с.

41. Два шарика, массы которых $m=0,1$ кг и $M=0,2$ кг, висят, соприкасаясь на вертикальных нитях длиной $1,5$ м (см. рисунок). Левый шарик отклоняют на угол 90° и отпускают без начальной скорости. Определите количество теплоты, выделившееся в результате абсолютно неупругого удара шариков.



Ответ: $Q=1$ Дж.

42. Два шарика, массы которых отличаются в 3 раза, висят, соприкасаясь, на вертикальных нитях (см. рисунок). Легкий шарик отклоняют на угол 90° и отпускают без начальной скорости. Определите отношение кинетических энергий тяжелого и лёгкого шариков сразу после абсолютно упругого центрального удара.



Ответ: $\frac{E_M}{E_m} = 3$.

СПРАВОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ

Десятичные приставки

<i>Наименование</i>	<i>Обозначение</i>	<i>Множитель</i>	<i>Наименование</i>	<i>Обозначение</i>	<i>Множитель</i>
гига	Г	10^9	санти	с	10^{-2}
мега	М	10^6	милли	м	10^{-3}
кило	к	10^3	микро	мк	10^{-6}
гекто	г	10^2	нано	н	10^{-9}
деци	Д	10^{-1}	пико	п	10^{-12}

Константы

Число π	$\pi \approx 3,14$
Ускорение свободного падения у поверхности Земли	$g \approx 10 \text{ м/с}^2$
Гравитационная постоянная	$\gamma \approx 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$

Плотность некоторых веществ

Воды	1000 кг/м^3	алюминия	2700 кг/м^3
древесины (сосна)	400 кг/м^3	железа	7800 кг/м^3
Керосина	800 кг/м^3	ртути	13600 кг/м^3
подсолнечного масла	900 кг/м^3		

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Демидова, М. Ю. ЕГЭ 2010. Физика: экзаменационные задания / М. Ю. Демидова, И.И. Нурминский. – М.: Эксмо, 2010. – 304 с.
2. Самое полное издание типовых вариантов заданий ЕГЭ: 2012 : Физика / авт.-сост. В.А. Грибов. – М.: АСТ: Астрель, 2012. – 138 с.
3. Самое полное издание типовых вариантов заданий ЕГЭ: 2013 : Физика / авт.-сост. В.А. Грибов. – М.: АСТ: Астрель, 2013. – 186 с.
4. Яворский, Б.М. Физика. Справочное руководство для поступающих в вузы / Б.М. Яворский, Ю.А. Селезнёв. – М.: Физматлит, 2004. – 592 с.
5. Кухлинг, Х. Справочник по физике / Х. Кухлинг. – М.: Мир, 1985. – 520 с.
6. Википедия. Механические_волны [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Гармонические_колебания
7. Википедия. Механические_волны [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Механические_волны

Содержание

Введение	3
1. ДИНАМИКА	4
1.1. Импульс	4
1.1.1. Закон сохранения импульса	5
1.1.2. Лобовое, центральное упругое соударение	6
1.1.3. Лобовое, центральное неупругое соударение	8
1.2. Энергия	10
1.2.1. Механическая энергия	10
1.2.2. Работа	11
1.2.3. Мощность	14
1.2.4. Коэффициент полезного действия	14
1.2.5. Закон сохранения энергии	15
Примеры задач с решениями.....	16
Задачи для самостоятельного решения	20
ОТВЕТЫ К ЗАДАЧАМ ПО ТЕМАМ: «ИМПУЛЬС» И «ЭНЕРГИЯ»	48
1.3. Силы тяжести.....	49
1.3.1. Гравитация	49
1.3.2. Закон Всемирного тяготения	49
1.3.3. Космические скорости	52
1.3.4. Сила тяжести и сила тяготения, действующие на тело, покоящееся на поверхности планеты	53
1.3.5. Вес тела	54
1.4. Силы упругости	54
1.5. Силы трения.....	55
Примеры задач с решениями.....	56
Задачи для самостоятельного решения	60

ОТВЕТЫ К ЗАДАЧАМ ПО ТЕМАМ: «СИЛЫ ТЯЖЕСТИ», «СИЛЫ УПРУГОСТИ», «СИЛЫ ТРЕНИЯ».....	73
2. СТАТИКА. ГИДРОАЭРОСТАТИКА	74
2.1. Статика	74
Пример задачи с решением	76
Задачи для самостоятельного решения.....	77
ОТВЕТЫ К ЗАДАЧАМ ПО ТЕМЕ «СТАТИКА».....	83
2.2. Гидроаэростатика	84
2.2.1. Закон Паскаля	85
2.2.2. Закон Архимеда.....	85
Пример задачи с решением	86
Задачи для самостоятельного решения.....	88
ОТВЕТЫ К ЗАДАЧАМ ПО ТЕМЕ «ГИДРОАЭРОСТАТИКА».....	92
3. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ	93
3.1. Механические колебания	93
3.1.1. Механические гармонические свободные колебания	94
3.1.1.1. Гармонические колебания математического маятника	96
3.1.1.2. Гармонические колебания пружинного маятника.....	98
3.1.2. Механические вынужденные колебания	101
3.2. Механические (упругие) волны.....	101
Примеры задач с решениями	104
Задачи для самостоятельного решения.....	107
ОТВЕТЫ К ЗАДАЧАМ ПО ТЕМЕ «МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ».....	121
Задачи с развёрнутыми ответами к части II учебного пособия «Механика» ...	122
СПРАВОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ.....	135
ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	136

Наталья Евгениевна Демидова

МЕХАНИКА

Динамика

(импульс, энергия, силы тяжести, силы упругости, силы трения).

Статика. Гидростатика.

Механические колебания и волны

Часть II

Редактор Н.А. Воронова

Подписано к печати _____ Формат 60X90 1/16 Бумага офсетная. Печать трафаретная

Уч.-изд. л. Усл. печ. л. Тираж экз. Заказ № _____

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

603950, Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65

Полиграфический центр ННГАСУ, 603950, Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65