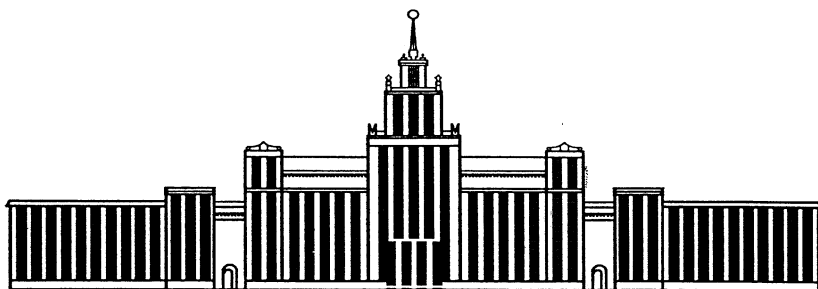

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

53(07)
Н446

Т.В. Незнаева

Ф И З И К А

Учебное пособие

Часть I

Челябинск
2019

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Южно-Уральский государственный университет
Физико-математическая школа

53(07)
Н446

Т.В. Незнаева

Ф И З И К А

Учебное пособие

Часть I

2-е издание

Челябинск
Издательский центр ЮУрГУ
2019

УДК 530(075.3)
Н446

Рецензенты:
Толчев А.В., Бурмистров В.А.

Н446 **Незнаева, Т.В.**

Физика: учебное пособие / Т.В. Незнаева – 2-е изд. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2019. – Ч. I. – 199 с.

Учебное пособие предназначено для слушателей Физико-математической школы ЮУрГУ, где уже ряд лет ведется подготовка к единому государственному экзамену (ЕГЭ).

В первой части пособия в краткой и доступной форме изложен теоретический материал, соответствующий учебному плану ФМШ первого полугодия. Кроме того, включены задания для самостоятельной работы. Данные задания состоят из трех частей. Часть А содержит задания с выбором ответа. К каждому заданию приводится 4 ответа, из которых правильный только один. Часть В содержит задания с кратким ответом. Часть С содержит задачи, при решении которых нужно назвать законы, физические величины, входящие в используемые формулы.

Все замечания и пожелания направлять по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76, ЮУрГУ, Физико-математическая школа. Отпечатано с авторского оригинала.

УДК 530(075.3)

© Незнаева Т.В., 2019

© Издательский центр ЮУрГУ, 2019

ГЛАВА I

КИНЕМАТИКА

§ 1. Основные понятия и величины

Кинематика изучает механическое движение тел, не рассматривая причины, которые обуславливают движение. В кинематике вводят понятия материальной точки и системы отсчета.

Материальной точкой называется тело, размерами которого в данной задаче можно пренебречь. Реальное тело можно заменить материальной точкой в двух случаях: 1) размеры тел много меньше расстояний между ними или тело проходит расстояние много больше размеров самого тела; 2) тело совершает поступательное движение. Во втором случае тело можно мысленно разбить на бесчисленное множество материальных точек. Все точки движутся с одинаковой скоростью, одинаковым ускорением и проходят равный путь. Поэтому достаточно рассмотреть движение одной (любой) точки тела.

Под системой отсчета понимают:

- 1) тело отсчета – это тело, которое в условиях задачи считается неподвижным и относительно которого решается задача (например, Земля);
- 2) систему координат, связанную с телом отсчета (оси X , Y , Z);
- 3) часы (начало отсчета времени).

Пусть материальная точка переместилась из положения A в положение B следующим образом (рис. 1). **Воображаемая линия, которую описала материальная точка при своем движении, называется траекторией.** В зависимости от вида траектории движения разделяются на прямолинейные и криволинейные. Вид траектории зависит от выбора системы отсчета.

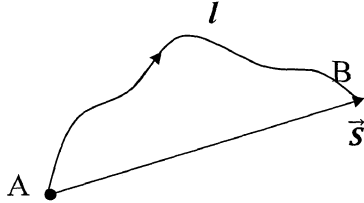


Рис. 1

Длина траектории представляет собой пройденный путь l . Путь – величина скалярная, всегда положительная.

Перемещение \vec{S} – это направленный отрезок, соединяющий начальное и конечное положения тела. Иначе говоря, это – вектор, проведенный из начального положения тела в конечное. Перемещение, как и любая векторная величина, задается численным значением (модулем) и направлением. $|\vec{S}|$ или S – две эквивалентные формы записи модуля перемещения. Если движение прямолинейное, и материальная точка не

меняет направление движения, то $S = l$. Если движение криволинейное, то $l > S$ (рис. 1).

§ 2. Равномерное прямолинейное движение

Равномерным прямолинейным движением называется движение, при котором материальная точка за любые равные промежутки времени совершает одинаковые перемещения.

Векторная величина \vec{v} , характеризующая быстроту и направление движения, называется скоростью движения. *Скорость равномерного движения равна перемещению материальной точки за единицу времени.* Если за время t материальная точка совершила перемещение \vec{S} , то

$$\vec{v} = \frac{\vec{S}}{t}. \quad (1)$$

Согласно (1) векторы скорости и перемещения сонаправлены ($\vec{v} \uparrow \vec{S}$).

Найдем модуль скорости, записав (1) в скалярной форме: $|\vec{v}| = |\vec{S}|/t$. Так как $|\vec{S}| = l$, то

$$v = \frac{l}{t}. \quad (2)$$

Здесь и в дальнейшем, если нет специальных оговорок или это не следует из условия задачи, будем считать, что материальная точка не меняет направление движения. Формула (2) справедлива и в случае движения материальной точки по криволинейной траектории. Эту скорость (2) называют *путевой*.

В международной системе единицей скорости является метр в секунду:

$$[v] = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Направим ось X вдоль прямолинейной траектории. Если x_0 – начальная координата материальной точки, то есть в момент времени $t = 0$, а x – координата ее в произвольный момент времени t , то проекция перемещения материальной точки за время t

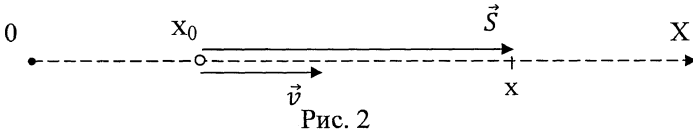
$$S_X = x - x_0. \quad (3)$$

Путь материальной точки за время t , если она не меняет направление движения,

$$l = |x - x_0|. \quad (4)$$

Рассмотрим два случая:

1. Материальная точка движется в положительном направлении оси X (рис. 2).



Запишем уравнение (1) в проекции на ось X :

$$S_X = v_X \cdot t. \quad (5)$$

$$\left. \begin{array}{l} (3) \\ (5) \end{array} \right\} \Rightarrow x - x_0 = v_X \cdot t,$$

$$\boxed{x = x_0 + v_X \cdot t}. \quad (6)$$

Формула (6) показывает зависимость координаты материальной точки от времени при равномерном движении и называется **уравнением движения**. График зависимости координаты материальной точки от времени (**график движения**) показан на рис. 3. Видно, что $|x_1 - x_0| = |v_{X1}| \cdot t_1 = l_1$ – путь, пройденный материальной точкой за время t_1 . Поэтому на графике зависимости проекции скорости от времени (рис. 4) путь за время t_1 численно равен площади заштрихованного прямоугольника, так как согласно формуле $l_1 = |v_{X1}| \cdot t_1$ путь представляет произведение смежных сторон прямоугольника.

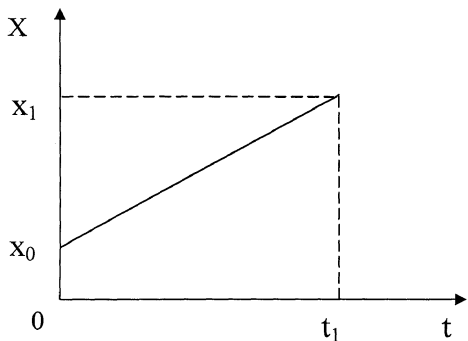


Рис. 3

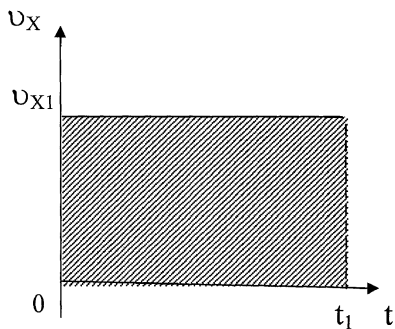


Рис. 4

2. Материальная точка движется в отрицательном направлении оси X (рис. 5).

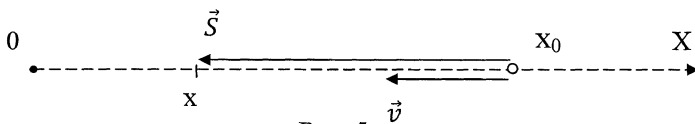


Рис. 5

В этом случае график движения представлен на рис. 6, а график проекции скорости – на рис. 7. Легко видеть, что и в этом случае путь, пройденный материальной точкой за время t_1

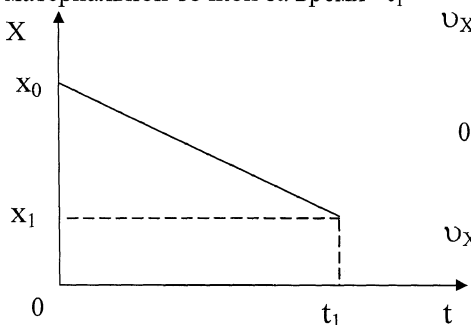


Рис. 6

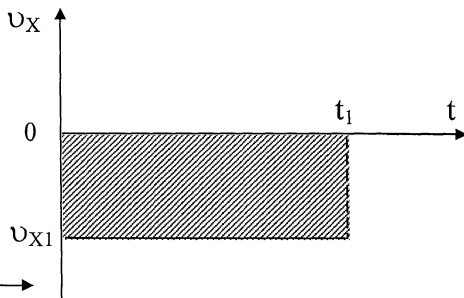


Рис. 7

$l_1 = |x_1 - x_0| = |v_{X1}| \cdot t_1$, численно равен площади заштрихованного прямоугольника.

§ 3. Относительность движения

Скорости и траектории тела в разных системах отсчета, движущихся друг относительно друга, различны. В этом заключается относительность движения. Проявлением относительности движения является закон сложения

ния скоростей: скорость тела относительно неподвижной системы отсчета $\vec{v}_{тн}$ равна векторной сумме скоростей подвижной системы отсчета относительно неподвижной $\vec{v}_{пн}$ и скорости тела относительно подвижной системы отсчета $\vec{v}_{тп}$

$$\vec{v}_{тн} = \vec{v}_{пн} + \vec{v}_{тп} . \quad (7)$$

Например, моторная лодка движется по реке. В этом случае вода представляет собой подвижную систему отсчета, а берег – неподвижную, т.е. $\vec{v}_{тн}$ – скорость лодки относительно берега, $\vec{v}_{пн}$ – скорость течения реки, $\vec{v}_{тп}$ – скорость лодки относительно воды.

§ 4. Равнопеременное прямолинейное движение

Движение, при котором скорость тела за любые равные промежутки времени изменяется на одну и ту же величину, называется равнопеременным движением. Если \vec{v}_0 – начальная скорость материальной точки, то есть скорость ее в момент времени $t = 0$, а \vec{v} – скорость материальной точки в момент времени t , то векторная величина \vec{a} показывает быстроту изменения скорости и называется ускорением:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t} = \frac{\Delta \vec{v}}{t} . \quad (8)$$

Здесь $\Delta \vec{v}$ – изменение вектора скорости.

$$[a] = 1 \frac{м}{с^2} .$$

Из формулы (8) следует, что векторы \vec{a} и $\Delta \vec{v}$ сонаправлены:

$$\vec{a} \uparrow \Delta \vec{v} . \quad (9)$$

(9) $\Rightarrow \vec{a} \uparrow \Delta \vec{v}$, если движение равноускоренное, то есть модуль скорости возрастает ($v \uparrow$) за равные промежутки времени на одну и ту же величину;

(9) $\Rightarrow \vec{a} \uparrow \Delta \vec{v}$, если движение равнозамедленное, то есть модуль скорости уменьшается ($v \downarrow$) за равные промежутки времени на одну и ту же величину.

Преобразуем формулу (8):

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t. \quad (10)$$

Спроецируем векторные величины в уравнении (10) на ось X:

$$v_x = v_{0x} + a_x t. \quad (11)$$

Формула (11) аналогична формуле $y = b + kx$, которую вы знаете из курса математики. Если по оси абсцисс откладывать время t , а по оси ординат – проекцию скорости v_x , то график зависимости v_x от t будет представлять прямую линию (рис. 8). Если угловой коэффициент $k > 0$, то функция y возрастает, если $k < 0$ – убывает. Поэтому прямая 1 соответствует движению с положительной проекцией ускорения ($a_x > 0$), а прямая 2 – с отрицательной проекцией ускорения ($a_x < 0$).

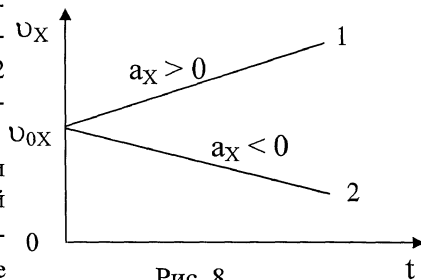


Рис. 8

Из графика проекции скорости найдем перемещение материальной точки S_{x1} за время t_1 (рис. 9). Разобьем время t_1 на бесконечно малые промежутки времени Δt , в пределах которых скорость материальной точки можно считать постоянной.

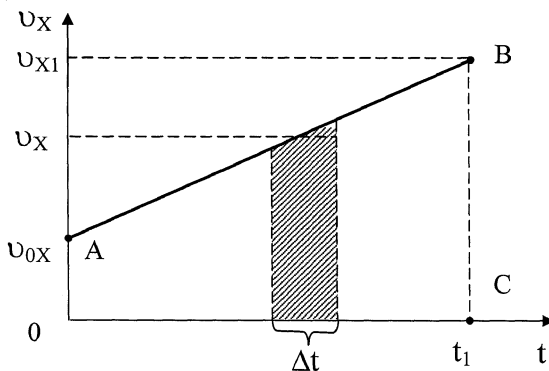


Рис. 9

Тогда за время Δt материальная точка совершает бесконечно малое перемещение

$$\Delta S_X = v_X \cdot \Delta t,$$

то есть численно равное площади заштрихованного прямоугольника. Перемещение

S_{X1} за время t_1 равно сумме ΔS_X :

$$S_{X1} = \sum \Delta S_X,$$

то есть численно равно площади трапеции $ABCO$:

$$S_{X1} = \frac{v_{0X} + v_{X1}}{2} \cdot t_1.$$

Подставляя в последнее уравнение формулу $v_{X1} = v_{0X} + a_X t_1$, получаем

$$S_{X1} = \frac{v_{0X} + (v_{0X} + a_X t_1)}{2} \cdot t_1 = v_{0X} t_1 + \frac{a_X t_1^2}{2}. \quad (12)$$

Для произвольного момента времени t выражение (12) принимает вид

$$\boxed{S_X = v_{0X} t + \frac{a_X t^2}{2}}. \quad (13)$$

Так как материальная точка не меняла направление движения (рис. 9), то пройденный путь за время t_1 также численно равен площади трапеции $ABCO$.

Графически пройденный путь можно определять только по графику скорости

$$v_X = f(t) \text{ или } v = f(t).$$

Мы знаем, что при любом виде движения

$$S_X = x - x_0. \quad (14)$$

$$\left. \begin{array}{l} (13) \\ (14) \end{array} \right\} \Rightarrow \boxed{x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}}. \quad (15)$$

Формула (15) позволяет вычислить координату материальной точки X в любой момент времени t .

Формулы (11), (13), (15) представляют собой кинематические уравнения равнопеременного движения в координатной форме. Если материальная точка меняет направление движения, то следует пользоваться данными уравнениями или уравнениями (11) и (13) в векторной форме:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t,$$

$$\vec{S} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2}.$$

Если материальная точка не меняет направление движения, то можно также применять кинематические уравнения равнопеременного движения в естественной форме, которые имеют вид

$$v = v_0 \pm at, \quad (16)$$

$$l = v_0 t \pm \frac{at^2}{2}. \quad (17)$$

Здесь v_0 – модуль начальной скорости; v – модуль скорости материальной точки в момент времени t ; a – модуль ускорения; l – путь материальной точки. Перед модулем ускорения пишется знак “+”, если движение равноускоренное, и знак “–”, если равнозамедленное.

Подставляя время движения из равенства (16) в уравнение (17), получаем

$$v^2 - v_0^2 = \pm 2al.$$

Последняя формула удобна при ответе на тестовые вопросы, когда время движения неизвестно и его не нужно определять по условию задачи.

Одним из видов равнопеременного движения является свободное падение. Свободное падение тел – это падение в безвоздушном пространстве (в вакууме). Оно происходит с ускорением свободного падения \vec{g} . Вектор \vec{g} направлен вертикально вниз. Если тело находится на высоте $H \ll R$ радиуса Земли, то

$$g = \text{const} = 9,8 \text{ м/с}^2.$$

§ 5. Средняя и мгновенная скорости

Если за время t материальная точка совершила перемещение \vec{S} , то средняя скорость перемещения

$$\vec{v}_{\text{cp}} = \frac{\vec{S}}{t}. \quad (18)$$

$$\vec{v}_{\text{cp}} \uparrow\uparrow \vec{S}.$$

Если материальная точка за время t прошла путь l , то модуль средней путевой скорости независимо от вида и характера движения

$$\boxed{v_{\text{cp}} = \frac{l}{t}}. \quad (19)$$

Формулу (19) можно применять для определения средней путевой скорости при любом движении.

Только при равнопеременном движении и только, когда материальная точка не меняет направление и характер движения, модуль средней скорости можно рассчитывать по формуле

$$\boxed{v_{\text{cp}} = \frac{v_1 + v_2}{2}}. \quad (20)$$

Следует помнить, что средняя скорость всегда определяется за определенный промежуток времени $\Delta t = t_2 - t_1$. Поэтому в формуле (20) v_1 – модуль скорости в момент времени t_1 , а v_2 – модуль скорости в момент t_2 .

Скорость тела в каждой конкретной точке траектории в данный момент времени называется мгновенной скоростью. Проекция мгновенной скорости определяется по формуле

$$v_x = v_{0x} + a_x t.$$

Если дана зависимость координаты от времени, то v_x можно также определить как производную от координаты по времени

$$\boxed{v_x = x'}$$

Модуль мгновенной скорости определяется по формуле

$$v = v_0 \pm at.$$

§ 6. Равномерное движение по окружности

Равномерным движением материальной точки по окружности называется движение, при котором радиус, проведенный к материальной точке, за любые равные промежутки времени поворачивается на один и тот же угол.

Пусть в течение времени t материальная точка равномерно двигалась по окружности радиуса R из положения A в положение B (рис. 10). При этом можно сказать следующее:

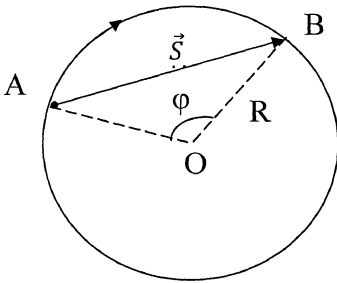


Рис.10

- 1) материальная точка прошла путь l , равный длине дуги окружности AB ;
- 2) материальная точка совершила перемещение \vec{S} , модуль которого равен длине хорды AB ;
- 3) радиус, проведенный к материальной точке, повернулся на угол φ .

$$[\varphi] = 1 \text{ рад.}$$

Угловой скоростью ω называется величина, равная углу, который описал радиус за единицу времени:

$$\omega = \frac{\varphi}{t}. \quad (21)$$

$$[\omega] = 1 \text{ рад/с.}$$

Радианная мера угла φ есть отношение длины дуги l к радиусу этой дуги R :

$$\varphi = \frac{l}{R}. \quad (22)$$

Решая совместно (21) и (22), получаем

$$\omega = \frac{l}{t \cdot R}.$$

Отношение пройденного пути l к времени представляет собой скорость v . С учетом этого последнее выражение примет вид

$$\omega = \frac{v}{R}.$$

Формула (23) дает связь между линейной v и угловой ω скоростями. Линейная скорость материальной точки направлена по касательной к траектории в сторону движения (рис. 11). При равномерном движении по окружности линейная скорость

материальной точки остается постоянной по модулю, но изменяется по направлению. *Ускорение, которое характеризует быстроту изменения скорости по направлению называется центростремительным $\vec{a}_{ц}$* . Вектор $\vec{a}_{ц}$ всегда перпендикулярен вектору скорости \vec{v} и направлен по радиусу к центру (рис. 11). Модуль центростремительного ускорения определяется по формуле

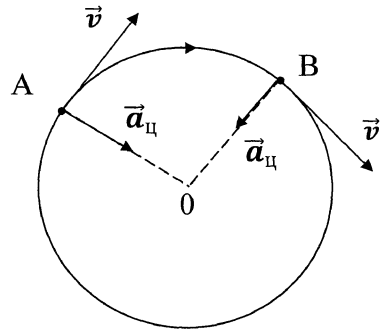


Рис.11

$$a_{ц} = \frac{v^2}{R}.$$

Число оборотов материальной точки за единицу времени называется частотой обращения ν . Если за время t материальная точка совершила N оборотов, то

$$\nu = \frac{N}{t}.$$

Период обращения T – это время, за которое материальная точка совершает один оборот, то есть

$$T = \frac{t}{N}.$$

$$\left. \begin{array}{l} (25) \\ (26) \end{array} \right\} \Rightarrow \boxed{v = \frac{l}{T}} \quad (27)$$

(21) Так как при $t = T$ угол поворота радиуса $\varphi = 2\pi$ рад, то согласно

$$\boxed{\omega = \frac{2\pi}{T}} \quad (28)$$

$$\left. \begin{array}{l} (27) \\ (28) \end{array} \right\} \Rightarrow \boxed{\omega = 2\pi \cdot v}$$

При равномерном движении $t = l/v$, а при $t = T$ путь $l = 2\pi R$, следовательно,

$$\boxed{T = \frac{2\pi R}{v}}$$

§ 7. Примеры решения задач

Задача 1

Прямолинейное движение материальной точки задано уравнением $x = -5 - 10t + 2,5t^2$ (м). Опишите характер движения. Определите путь и среднюю скорость материальной точки за 3 с. Постройте график зависимости пути от времени за 3 с.

Дано:

$$x = -5 - 10t + 2,5t^2 \text{ (м)}$$

$$t_1 = 3 \text{ с}$$

$$l_1; v_{\text{ср}}; \text{ график } l(t)$$

Так как зависимость координаты от времени представляет собой квадратичную функцию, то имеет место равнопеременное движение. Сравнивая приведенное уравнение движения с уравнением в общем виде получаем

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2},$$

$$x_0 = -5 \text{ м}; v_{0x} = -10 \text{ м/с}; a_x = 5 \text{ м/с}^2.$$

Следовательно, зависимость проекции скорости от времени

$$v_x = v_{0x} + a_x t$$

в условиях нашей задачи имеет вид

$$v_x = -10 + 5t \text{ (м/с)}.$$

Такую же зависимость получим, если возьмем производную от координаты по времени

$$v_x = x' = (-5 - 10t + 2,5t^2)' = -10 + 5t \text{ (м/с)}.$$

Видно, что $v_x(t)$ является линейной функцией, график которой есть прямая. Для построения прямой достаточно знать две точки графика. Заполним таблицу

t, с	0	3	2
v_x , м/с	-10	5	0

(аргументу t дали значение 0 и 3 с и по формуле $v_x = -10 + 5t$ (м/с) нашли значения v_x , а задав $v_x = 0$, нашли момент времени, в который материальная точка остановилась). Отметим на координатной плоскости точки, приведенные в таблице, и проведем через точки прямую (рис. 12).

Опишем характер движения. От начала движения до конца второй секунды материальная точка двигалась в отрицательном направлении оси X ($v_x < 0$) равнозамедленно, так как модуль скорости уменьшался ($v \downarrow$) за равные промежутки времени на одну и ту же величину. В момент времени $t = 2$ с материальная точка остановилась и изменила направление движения: третью секунду она двигалась в положительном направлении оси X ($v_x > 0$) равноускоренно, так как модуль скорости увеличивался за равные промежутки времени на одну и ту же величину (рис. 12).

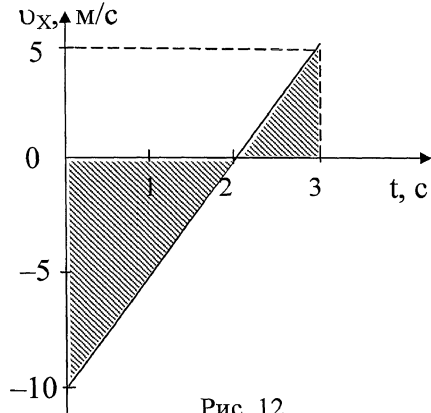


Рис. 12

Путь материальной точки за 3 секунды численно равен площади двух заштрихованных прямоугольных треугольников:

$$l_1 = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 10 + \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 5 = 10 + 2,5 = 12,5 \text{ м.}$$

Средняя скорость за 3 секунды

$$v_{\text{ср1}} = \frac{l_1}{t_1} = \frac{12,5}{3} = 4,17 \text{ м/с.}$$

Для построения графика зависимости пути от времени заполним таблицу

t, с	0	2	3
l, м	0	10	12,5

(данные для таблицы нашли графически из рис. 12). Так как зависимость пути от времени представляет собой квадратичную функцию

$$l = v_0 t \pm \frac{at^2}{2}, \text{ то график ее есть } l, \text{ м}$$

парабола. Причем в интервале времени 0...2 с ветви параболы направлены вниз, так как перед t^2 отрицательное число (равнозамедленное движение). В интервале времени 2...3 с перед t^2 положительное число (равноускоренное движение), следовательно, ветви параболы направлены вверх. Отметим на графике (рис.13) точки, приведенные в таблице, и построим две сопряженные параболы.

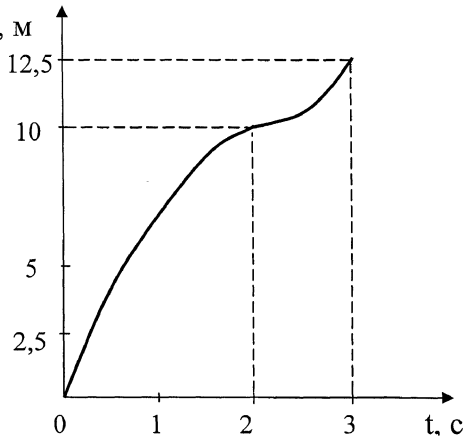


Рис. 13

Ответ: путь материальной точки за 3 с $l_1 = 12,5$ м; средняя скорость за 3 с $v_{\text{ср1}} = 4,17$ м/с.

Задача 2

Прямолинейное движение материальной точки задано уравнением $x = 3 + 2t - t^2$ (м). Определите перемещение материальной точки за 3 с. Постройте графики зависимости проекции ускорения, проекции перемещения и координаты от времени за 3 с.

Дано:

$$x = 3 + 2t - t^2 \text{ (м)}$$

$$t_1 = 3 \text{ с}$$

S_1 ;
графики $a_X(t)$, $S_X(t)$, $x(t)$

Так как зависимость координаты от времени представляет собой квадратичную функцию, то имеет место равнопеременное движение. Сравнивая приведенное уравнение движения с уравнением в общем виде

$$x = x_0 + v_{0X}t + \frac{a_X t^2}{2},$$

получаем $x_0 = 3 \text{ м}$; $v_{0X} = 2 \text{ м/с}$; $a_X = -2 \text{ м/с}^2$.

Следовательно, зависимость проекции перемещения от времени

$$S_X = v_{0X}t + \frac{a_X t^2}{2}$$

в условии нашей задачи имеет вид

$$S_X = 2t - t^2 \text{ (м)}.$$

Найдем S_{X1} за 3 с:

$$S_{X1} = 2t_1 - t_1^2 = 2 \cdot 3 - 3^2 = -3 \text{ м}.$$

Модуль перемещения материальной точки

$$S_1 = |S_{X1}| = 3 \text{ м}.$$

Так как проекция ускорения – постоянная величина $a_X = -2 \text{ м/с}^2$, то график

$a_X(t)$ имеет вид (рис.14).

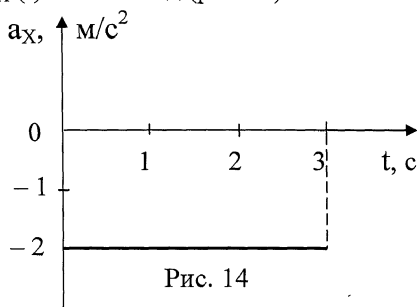


Рис. 14

Зависимость $S_X(t)$ представляет квадратичную функцию

$$S_X = 2t - t^2 \text{ (м)},$$

графиком которой является парабола. Вершину параболы найдем, если воспользуемся тем, что в этой точке производная равна нулю:

$$S_X' = 0, \quad S_X' = (2t - t^2)' = 2 - 2t = 0 \Rightarrow$$

$t_0 = 1$ с, t_0 – абсцисса вершины параболы. Для построения графика $S_X(t)$ заполним таблицу:

$t, \text{с}$	0	1	2	3
$S_X, \text{м}$	0	1	0	-3

Отметим на координатной плоскости точки, приведенные в таблице, и проведем через эти точки параболу (рис. 15).

Для построения графика $x(t)$ сравним уравнения

$$x = 3 + 2t - t^2 \text{ (м)},$$

$$S_X = 2t - t^2 \text{ (м)}.$$

Из сравнения видно, что график $x(t)$ представляет такую же параболу, что и график $S_X(t)$ (рис. 15), но все точки на графике смещены на 3 м вверх (рис. 16).

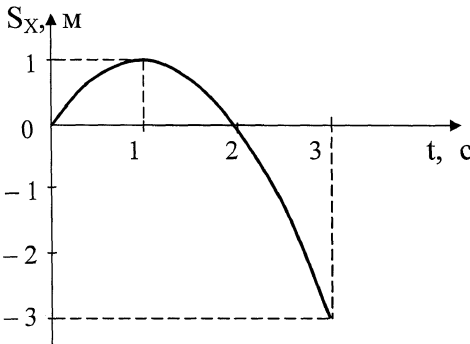


Рис. 15

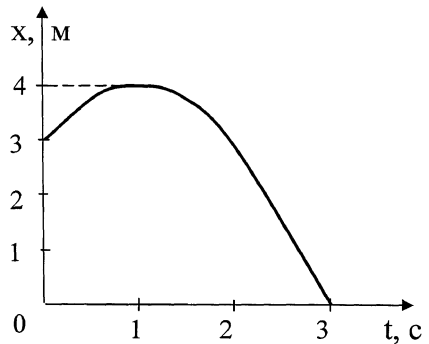


Рис. 16

Ответ: перемещение материальной точки за 3 с $S_1 = 3$ м.

Задача 3

Мяч брошен вертикально вверх со скоростью 20 м/с с высоты 30 м над поверхностью земли. Определите координату и скорость мяча через 5 с, а также перемещение и пройденный путь за 5 с.

Дано:

$$\begin{aligned}v_0 &= 20 \text{ м/с} \\ h &= 30 \text{ м} \\ t_1 &= 5 \text{ с}\end{aligned}$$

$$x_1, v_1, S_1, l_1$$

Так как из условия задачи неясно, меняет мяч направление движения или нет, то будем использовать кинематические уравнения равнопеременного движения в координатной форме. Мяч примем за материальную точку. Систему отсчета свяжем с землей, то есть в качестве тела отсчета выберем землю, начало координат поместим на поверхности земли, а ось X направим вертикально

вверх. Начало отсчета времени – момент, когда мяч придет в движение. Выполним пояснительный рисунок, на котором покажем векторы \vec{v}_0 и \vec{g} (рис. 17).

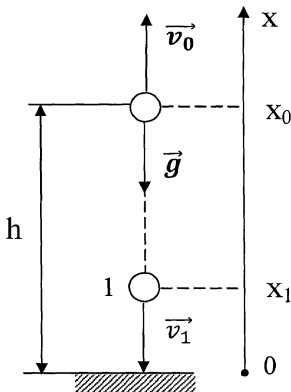


Рис. 17

Запишем зависимость координаты от времени в общем виде

$$x = x_0 + v_{0X}t + \frac{a_X t^2}{2}.$$

Из рис. 17 видно, что

$$x_0 = 30 \text{ м}; v_{0X} = v_0; a_X = -g.$$

Тогда

$$x_1 = x_0 + v_0 t_1 - \frac{g t_1^2}{2} = 30 + 20 \cdot 5 - \frac{10 \cdot 5^2}{2} = 5 \text{ м}.$$

Проекцию перемещения найдем по формуле

$$S_{X1} = x_1 - x_0 = 5 - 30 = -25 \text{ м}.$$

Модуль перемещения

$$S_1 = |S_{X1}| = 25 \text{ м}.$$

Отметим на рисунке точку 1 и проведем вектор \vec{v}_1 . Для нахождения модуля v_1 запишем уравнение проекции скорости

$$v_x = v_{0x} + a_x t.$$

Для нашей задачи

$$v_{x1} = v_0 - g t_1 = 20 - 10 \cdot 5 = -30 \text{ м/с};$$

$$v_1 = |v_{x1}| = 30 \text{ м/с}.$$

Запишем уравнение проекции скорости с числовыми коэффициентами

$$v_x = 20 - 10t \text{ (м/с)}$$

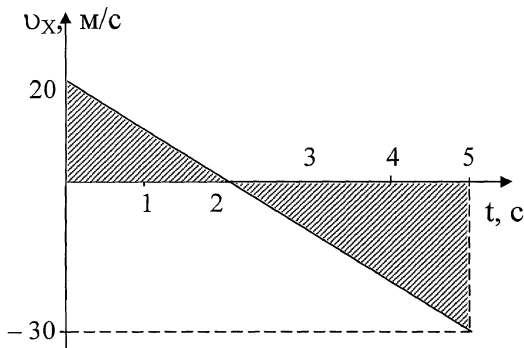


Рис. 18

Ответ: координата мяча $x_1 = 5$ м; скорость $v_1 = 30$ м/с; перемещение $S_1 = 25$ м; путь мяча $l_1 = 65$ м.

Задача 4

Тело, двигаясь равнозамедленно, в начальный момент времени имело скорость 0,4 м/с. В течение пятой секунды оно прошло путь 0,31 м. С каким ускорением двигалось тело? Какой путь оно прошло до полной остановки?

Дано:

$$v_0 = 0,4 \text{ м/с}$$

$$l_5 - l_4 = 0,31 \text{ м}$$

$$v_t = 0$$

$$a; \quad l_t$$

Обозначим: l_5 – путь тела за 5 секунд; l_4 – путь за 4 секунды. Тогда $(l_5 - l_4)$ – путь тела за пятую секунду. Выполним пояснительный рисунок (рис. 19). Так как тело не меняло направление движения, то воспользуемся уравнением пути в естественной форме для равнозамедленного движения

$$l_5 = v_0 t_5 - \frac{at_5^2}{2}, \quad (29)$$

$$l_4 = v_0 t_4 - \frac{at_4^2}{2}, \quad (30)$$

где $t_5 = 5$ с, а $t_4 = 4$ с.

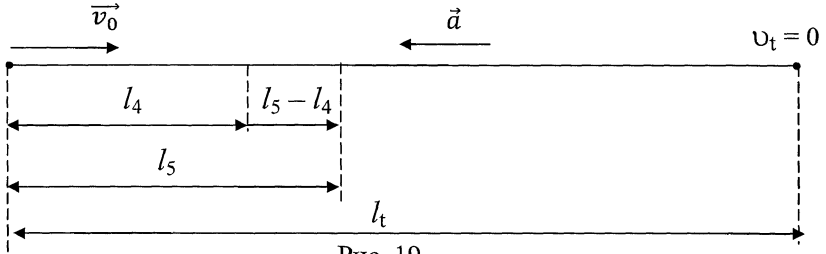


Рис. 19

Вычитая из (29) уравнение (30), получаем

$$l_5 - l_4 = v_0 (t_5 - t_4) - \frac{a}{2} (t_5^2 - t_4^2).$$

Подставим числовые значения и выполним расчет:

$$0,31 = 0,4(5 - 4) - \frac{a}{2} (5^2 - 4^2) \Rightarrow$$

$$a = 0,02 \text{ м/с}^2.$$

Запишем уравнение скорости

$$v = v_0 - at,$$

которое для нашей задачи имеет вид

$$v = 0,4 - 0,02t \text{ (м/с)}.$$

Найдем момент времени, когда скорость тела $v_t = 0$:

$$0 = 0,4 - 0,02t \Rightarrow t = 20 \text{ с}.$$

Тогда путь, пройденный телом до остановки,

$$l_t = v_0 t - \frac{at^2}{2} = 0,4 \cdot 20 - \frac{0,02 \cdot 20^2}{2} = 4 \text{ м.}$$

Ответ: тело двигалось с ускорением $a = 0,02 \text{ м/с}^2$ и прошло путь до полной остановки $l_t = 4 \text{ м}$.

Задача 5

Мяч, брошенный горизонтально с начальной скоростью 20 м/с , упал на землю через 4 с . С какой высоты брошен мяч? Какова дальность полета? Чему равна его скорость в момент падения?

Дано:

$$v_0 = 20 \text{ м/с}$$

$$t = 4 \text{ с}$$

$$h; L; v; \alpha$$

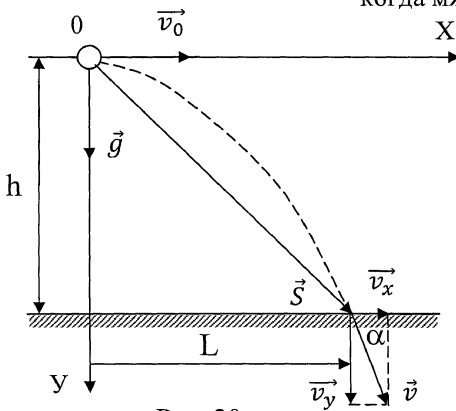


Рис. 20

В условии задачи мяч примем за материальную точку. За тело отсчета выберем землю, начало координат совместим с начальным положением мяча, а оси X и Y направим соответственно горизонтально вправо и вертикально вниз (рис. 20). За начало отсчета времени возьмем тот момент, когда мяч придет

в движение. Покажем на рисунке векторы \vec{v}_0 , \vec{g} , \vec{S} и вектор скорости \vec{v} в момент падения мяча. Разложим вектор \vec{v} на две составляющие \vec{v}_x и \vec{v}_y . Тогда по теореме Пифагора модуль скорости

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}, \text{ где}$$

$$\left. \begin{array}{l} v_x = v_{0x} + a_x t \\ v_{0x} = v_0; a_x = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow v_x = v_0$$

$$\left. \begin{array}{l} v_y = v_{0y} + a_y t \\ v_{0y} = 0; a_y = g \end{array} \right\} \Rightarrow v_y = gt.$$

Следовательно,

$$v = \sqrt{v_0^2 + (gt)^2} = \sqrt{20^2 + (10 \cdot 4)^2} = 44,7 \text{ м/с.}$$

Определим угол α , под которым мяч упадет на землю:

$$\cos \alpha = \frac{v_0}{v} = \frac{20}{44,7} = 0,447 \Rightarrow \alpha = \arccos 0,447 = 63^\circ.$$

Запишем проекции перемещения на оси X и Y :

$$S_x = v_{0x} \cdot t + \frac{a_x t^2}{2},$$

$$S_y = v_{0y} \cdot t + \frac{a_y t^2}{2},$$

$$S_x = L; \quad v_{0x} = v_0; \quad a_x = 0; \quad S_y = h; \quad v_{0y} = 0; \quad a_y = g.$$

Тогда дальность полета мяча

$$L = v_0 \cdot t.$$

Подставим числовые значения и проведем расчет:

$$L = 20 \cdot 4 = 80 \text{ м.}$$

Высота, с которой брошен мяч,

$$h = \frac{gt^2}{2}.$$

Подставим числовые значения и проведем расчет:

$$h = \frac{10 \cdot 4^2}{2} = 80 \text{ м.}$$

Следует отметить, что такое движение мяча можно рассматривать как сумму двух независимых движений:

1) равномерное движение по горизонтали, при котором мяч проходит расстояние, определяемое формулой $L = v_0 t$;

2) равноускоренное, без начальной скорости, движение по вертикали, при котором мяч проходит путь h , определяемый формулой $h = \frac{gt^2}{2}$.

Ответ: мяч брошен с высоты $h = 80$ м, дальность полета его $L = 80$ м, скорость мяча в момент падения $v = 44,7$ м/с и направлена под углом $\alpha = 63^\circ$ к поверхности земли.

§ 8. Задания для самостоятельной работы с выбором ответа

1. Студент шел равномерно из общежития в университет со скоростью 6 км/ч, а обратно – со скоростью 3 км/ч. Определите модуль средней путевой скорости студента.

Ответ: _____ км/ч

2. Студент шел равномерно из общежития в университет половину времени со скоростью 6 км/ч, а другую половину времени – со скоростью 3 км/ч. Определите модуль средней скорости студента при прохождении им пути от общежития до университета.

Ответ: _____ км/ч

3. По дороге движутся два автомобиля навстречу друг другу с постоянными скоростями $v_1 = 54$ км/ч и $v_2 = 72$ км/ч. На каком расстоянии окажутся автомобили через 10 мин после встречи?

Ответ: _____ км

4. По двум взаимно перпендикулярным дорогам движутся два автомобиля со скоростями $v_1 = 54$ км/ч и $v_2 = 72$ км/ч. На каком расстоянии окажутся автомобили через 10 мин после встречи?

Ответ: _____ км

5. Если человек прошел по горизонтальному полю 60 м строго на юг, затем 80 м на восток, то модуль перемещения человека равен

Ответ: _____ м

6. Если человек прошел по горизонтальному полю 60 м строго на юг, затем 80 м на восток, то путь, пройденный человеком, равен

Ответ: _____ м

7. С балкона бросают два одинаковых мяча со скоростями $v_{01} = v_{02}$: первый – вертикально вниз, второй – вертикально вверх. Сравните модули перемещения мячей за время от начала движения до момента их падения на землю.

1) $S_1 = S_2$; 2) $S_1 < S_2$ 3) $S_1 > S_2$;

4) модули перемещения сравнить нельзя.

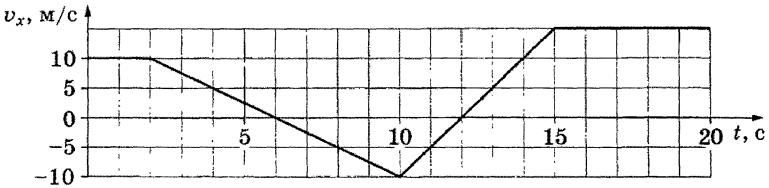
8. С балкона бросают два одинаковых мяча со скоростями $v_{01} = v_{02}$: первый – вертикально вниз, второй – вертикально вверх. Сравните пути за время от начала движения мячей до момента их падения на землю.

- 1) $l_1 = l_2$; 2) $l_1 < l_2$; 3) $l_1 > l_2$; 4) недостаточно данных.

9. По арене цирка диаметром 12 м бежит лошадь. Определите модуль перемещения лошади за 0,5 периода ее движения.

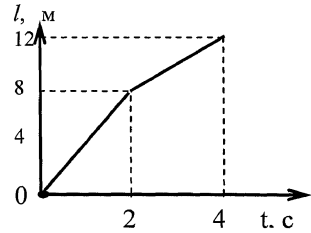
Ответ: _____ м

10. На рисунке приведен график зависимости проекции скорости тела V_x от времени. Определите величину проекции ускорения этого тела a_x в интервале времени от 5 до 10 с



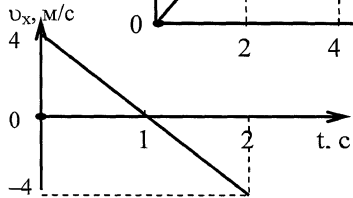
Ответ: _____ м/с²

11. На графике приведена зависимость пройденного пути от времени для прямолинейного движения материальной точки. Средняя путевая скорость точки за 4 с равна



Ответ: _____ м/с

12. По графику зависимости $v_x(t)$ определите среднюю путевую скорость материальной точки за 2 с.

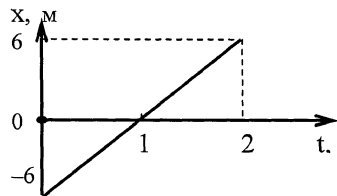


Ответ: _____ м/с

13. Зависимость координаты прямолинейно движущейся материальной точки имеет вид $x = 4 - 3t$, м. Чему равен путь, пройденный точкой за 2 с?

- 1) 2 м; 2) - 2 м; 3) 6 м; 4) - 6 м.

14. По графику зависимости $x(t)$ определите путь материальной точки за 2 с.



Ответ: _____ м

15. Зависимость координаты прямолинейно движущейся материальной точки от времени имеет вид $x = -4 - 8t + 1,5t^2$, м. Чему равна проекция начальной скорости?

- 1) -4 м/с; 2) -8 м/с; 3) $1,5$ м/с; 4) 3 м/с.

16. Движение материальной точки задано уравнением $x = 2 + 3t - 2t^2$. Проекция вектора ускорения через 1 с после начала движения равна (м/с²)

- 1) 2 ; 2) 3 ; 3) 4 ; 4) -4 .

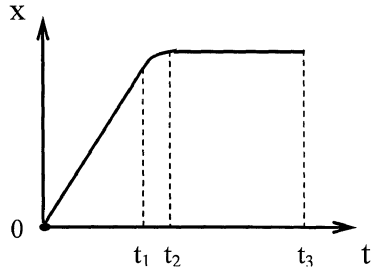
17. Поезд начинает тормозить и, пройдя 900 м, останавливается через 5 мин. С какой скоростью (в м/с) двигался поезд?

Ответ: _____ м/с

18. Камень брошен вертикально вверх со скоростью 10 м/с. Определить время, по истечении которого камень вернулся в исходную точку.

Ответ: _____ с

19. Тело движется вдоль оси Ox . Пользуясь графиком зависимости координаты (x) тела от времени (t), определите, в какие промежутки времени тело двигалось равномерно.



- 1) от 0 до t_1 ;
 2) от t_1 до t_2 ;
 3) от t_2 до t_3 ;
 4) от 0 до t_1 и от t_2 до t_3 .

20. По арене цирка диаметром 10 м бежит лошадь. Определите модуль перемещения лошади, если она пробежала один круг.

Ответ: _____ м

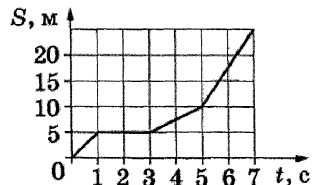
21. Материальная точка, вращаясь по окружности радиусом R , сделала $3/4$ оборота. Модуль вектора перемещения равен

- 1) $\frac{3}{2}\pi R$; 2) $\frac{\pi R}{2}$; 3) R ; 4) $R\sqrt{2}$.

22. Частица равномерно вращается с угловой скоростью $\omega = \pi$ рад/с по окружности радиуса 2 м. Чему равно ускорение частицы?

Ответ: _____ м/с²

23. На рисунке представлен график зависимости пути S материальной точки от времени t . Определите скорость материальной точки на интервале времени от 5 до 7 с



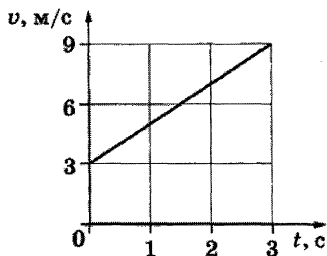
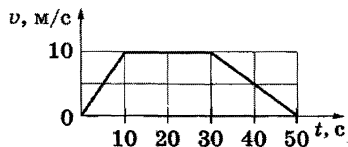
Ответ: _____ м/с

24. На рисунке представлен график зависимости модуля скорости V автомобиля от времени t . Определите по графику путь, пройденный автомобилем в интервале времени от 0 до 30 с.

Ответ: _____ м

25. По графику зависимости модуля скорости тела от времени определите ускорение прямолинейно движущегося тела в момент времени 2 с.

Ответ: _____ м/с²



§ 9. Задания для самостоятельной работы с кратким ответом

1. Тело, брошенное вертикально вверх, находилось в полете 2 с. Чему равна его средняя скорость за это время?

Ответ: _____ м/с

2. Тело одну треть всего времени двигалось со скоростью 30 м/с, а оставшиеся две трети — со скоростью 15 м/с. Средняя скорость за все время движения равна ...

Ответ: _____ м/с

3. Автомобиль, двигаясь прямолинейно, проходит первую треть пути со скоростью 20 м/с, а оставшуюся часть пути со скоростью 10 м/с. Определите среднюю путевую скорость автомобиля за время движения

Ответ: _____ м/с

4. Прямолинейное движение материальной точки задано уравнением $x = 5 + 6t - 2t^2$, м. Определите среднюю скорость за вторую секунду

Ответ: _____ м/с

5. Прямолинейное движение материальной точки задано уравнением $x = 4 + 4t - t^2$, м. Проекция ускорения материальной точки равна ...

Ответ: _____ м/с

6. Прямолинейное движение материальной точки задано уравнением $x = 6 + 8t - 4t^2$, м. Здесь время в секундах. В какой момент времени скорость материальной точки равна нулю?

Ответ: _____ с

7. Зависимость координаты от времени для прямолинейно движущейся материальной точки имеет вид $x = 5 - 4t + t^2$, м. Чему равна проекция скорости (в м/с) в момент времени 2 с?

Ответ: _____ м/с

8. Свободно падающее тело в некоторой точке траектории имело скорость 20 м/с, а в другой – 40 м/с. Определите расстояние между этими точками.

Ответ: _____ м

9. Мяч, брошенный горизонтально с начальной скоростью 20 м/с, упал на землю через 2 с. Какова дальность его полета?

Ответ: _____ м

10. Материальная точка равномерно движется по окружности радиуса 50 см со скоростью 2 м/с. Чему равно ускорение материальной точки? (Ответ в СИ).

11. Тело равномерно движется по окружности радиусом 2 м с частотой 3 об/с. Определите ускорение тела. (Ответ в единицах СИ).

12. Определите радиус маховика, если при вращении скорость точек на его ободе 6 м/с, а скорость точек, находящихся на 15 см ближе к оси, равна 5,5 м/с.

Ответ: _____ см

13. Установите соответствие между зависимостью проекции перемещения тела от времени и зависимостью проекции скорости этого тела от времени для одного и того же движения. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго столбца.

ПРОЕКЦИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

ПРОЕКЦИЯ СКОРОСТИ

A) $S_x = 5t + 4t^2$

1) $v_x = 4 - 5t$

Б) $S_x = 4t - 2,5t^2$

2) $v_x = 8 + 5t$

3) $v_x = 5 + 8t$

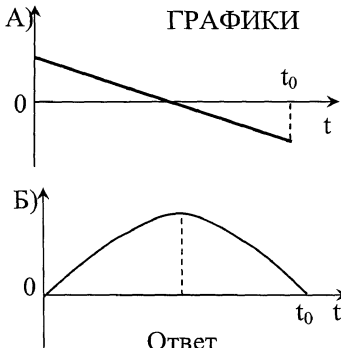
4) $v_x = 4 - 2,5t$

Ответ

А	Б

14. Шарик брошен вертикально вверх с начальной скоростью \vec{v} (см. рисунок). Установите соответствие между графиками и физическими величинами, зависимости которых от времени эти графики могут представлять (t_0 – время полета). К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.





ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- 1) координата шарика y
- 2) проекция скорости шарика v_y
- 3) проекция ускорения шарика a_y
- 4) проекция F_y силы тяжести, действующей на шарик

Ответ

А	Б

15. Ученик исследовал движение бруска по наклонной плоскости и определил, что брусок, начиная движение из состояния покоя, проходит расстояние 30 см с ускорением $0,8 \text{ м/с}^2$. Установите соответствие между физическими величинами, полученными при исследовании движения бруска (см. левый столбец), и уравнениями, выражающими эти зависимости, приведенными в правом столбце. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ЗАВИСИМОСТИ

- А) зависимость пути, пройденного бруском, от времени
- Б) зависимость модуля скорости бруска от пройденного пути

УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ

- 1) $l = At^2$, где $A = 0,4 \text{ м/с}^2$
- 2) $l = Bt^2$, где $B = 0,8 \text{ м/с}^2$
- 3) $v = C\sqrt{l}$, где $C = 1,3 \sqrt{\text{м/с}}$
- 4) $v = Dl$, где $D = 1,3 \text{ 1/с}$

Ответ:

А	Б

16. Автомобиль равномерно проезжает мимо заправочной станции. Как будут изменяться характеристики движения (координата, скорость, ускорение), если заправочную станцию принять за тело отсчета.

ХАРАКТЕРИСТИКА ДВИЖЕНИЯ

- А) координата
- Б) скорость
- В) ускорение

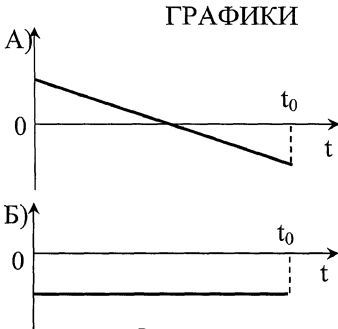
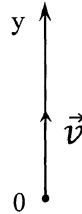
ИЗМЕНЕНИЯ

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

Ответ:

А	Б	В

17. Шарик брошен вертикально вверх со скоростью v_0 (см. рисунок). Установите соответствие между графиками и физическими величинами, зависимости которых от времени эти графики могут представлять (t_0 – время полета).



ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- 1) координата шарика y
- 2) проекция скорости шарика v_y
- 3) проекция ускорения шарика a_y
- 4) модуль силы тяжести, действующей на шарик

Ответ:

А	Б

18. Тело, брошенное с горизонтальной поверхности со скоростью v под углом α к горизонту, через некоторое время t падает на расстоянии S от точки броска. Сопротивление воздуха пренебрежимо мало. Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно определить.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

А) время полета t

Б) расстояние S от точки броска до точки падения

ФОРМУЛЫ

- 1) $\frac{v^2 \sin^2 \alpha}{2g}$
- 2) $\frac{2v \sin \alpha}{g}$
- 3) $\frac{v \sin \alpha}{2g}$
- 4) $\frac{v^2 \sin 2\alpha}{g}$

Ответ:

А	Б

19. Тело, брошенное со скоростью U под углом α к горизонту, в течение времени t поднимается на максимальную высоту h над горизонтом. Сопротивление воздуха пренебрежимо мало. Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно определить. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

ФОРМУЛЫ

А) время подъема t на максимальную высоту

1) $\frac{v^2 \sin^2 \alpha}{2g}$

Б) максимальная высота h над горизонтом

2) $\frac{v \cos^2 \alpha}{g}$

3) $\frac{v^2 \sin 2\alpha}{2g}$

4) $\frac{v \sin \alpha}{g}$

Ответ

А	Б

20. Тело бросили с балкона вертикально вверх. Система отсчета связана с поверхностью Земли, ось Ox направлена вертикально вверх. Установите соответствие между физическими величинами и характером их изменения в ходе полета тела до поверхности Земли. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ЕДИНИЦА ВЕЛИЧИНЫ

А) координата

1) постоянно возрастает

Б) проекция вектора скорости

2) постоянно убывает

В) проекция вектора ускорения

3) остается неизменной

4) сначала возрастает, затем убывает

Ответ:

А	Б	В

21. Мяч, брошенный горизонтально с начальной скоростью v_0 , спустя время t упал на землю. Сопротивление воздуха пренебрежимо мало. Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно определить. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

ФОРМУЛЫ

А) высота, с которой брошен мяч

1) $\frac{gt^2}{2}$

Б) дальность полета

2) $v_0t + \frac{gt^2}{2}$

3) v_0t

4) $\frac{v_0^2}{2g}$

Ответ

А	Б

22. Камень брошен вертикально вверх со скоростью v_0 . Определить время, по истечении которого камень вернулся в исходную точку. Чему равна максимальная высота, на которую поднялся камень? Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно определить. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

ФОРМУЛЫ

А) время полета

1) $\frac{v_0}{g}$

Б) максимальная высота

2) $\frac{2v_0}{g}$

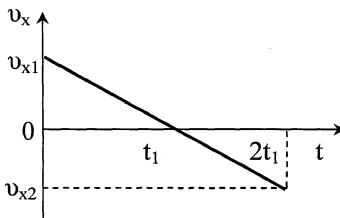
3) $\frac{v_0^2}{2g}$

4) $\frac{2v_0^2}{g}$

Ответ

А	Б

23. По графику зависимости $v_x(t)$ определите путь, модуль перемещения и модуль ускорения материальной точки за время $2t_1$. Известно, что $v_{\delta 1} = |v_{\delta 2}|$. Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно определить. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго столбца и запишите в таблицу выбранные цифры.



ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) путь
- Б) модуль перемещения
- В) модуль ускорения

ФОРМУЛЫ

- 1) $v_{x1} \cdot t_1$
- 2) 0
- 3) $(v_{x1} + |v_{x2}|)t_1$
- 4) $\frac{v_{x1}}{t_1}$

Ответ:

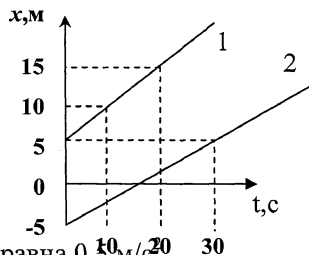
А	Б	В

24. Мяч, брошенный горизонтально с начальной скоростью v , упал на землю. Сопротивлением воздуха пренебречь. Как при этом изменяется горизонтальная составляющая скорости, вертикальная составляющая скорости и ускорение камня?

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

Горизонтальная составляющая скорости	Вертикальная составляющая скорости	Ускорение

25. На рисунке приведены графики зависимости координат x двух прямолинейно движущихся тел от времени t . Из приведенного ниже списка выберите два правильных утверждения и укажите их номера.



- 1) Проекция на ось Ox ускорения тела 1 больше проекции на ось Ox ускорения тела 2.
- 2) Проекция на ось Ox ускорения тела 1 равна $0,5 \text{ м/с}^2$

3) проекция на ось Ox скорости тела 1 больше проекции на ось Ox скорости тела 2

4) В момент времени 15 секунд тело 2 достигло начала отсчёта

5) проекция на ось Ox скорости тела 2 равна 3 м/с

Ответ: _____

§ 10. Задания для самостоятельной работы с развернутым ответом

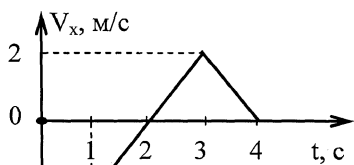
1. Автомобиль проехал первую половину пути со скоростью 60 км/ч , оставшуюся часть пути он половину времени шел со скоростью 15 км/ч , а последний участок – со скоростью 25 км/ч . Найти среднюю скорость автомобиля на всем пути.

2. Расстояние 240 м необходимо проехать на лодке туда и обратно один раз по реке, скорость течения которой 1 м/с , а другой раз по озеру. Скорость лодки относительно воды в обоих случаях 5 м/с . На сколько время движения лодки по реке в данном случае больше времени ее движения по озеру?

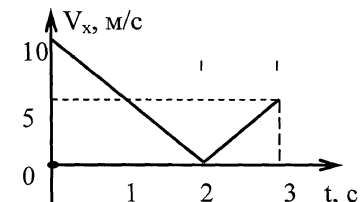
3. Скорость течения реки $1,5\text{ м/с}$. Скорость лодки относительно берега при движении против течения 1 м/с . Каковы модуль и направление скорости лодки относительно берега, когда лодка переправляется через реку под углом 60° к течению реки?

4. Один автомобиль идет с юга на север со скоростью 80 км/ч , другой с запада на восток со скоростью 60 км/ч . Найти скорость второго автомобиля в системе отсчета, связанной с первым. На каком расстоянии друг от друга окажутся автомобили через 10 мин после встречи у перекрестка?

5. На рисунке представлена зависимость проекции скорости прямолинейного движения материальной точки от времени. Опишите характер движения. Определите путь и перемещение за 4 с .



6. На рисунке дан график зависимости проекции скорости тела от времени, начальная координата равна 2 м . Запишите зависимости координаты и проекции скорости тела от времени. Определите путь, перемещение и среднюю скорость тела за 3 с .



7. Расстояние между двумя станциями метро $S = 3$ км поезд проходит со средней скоростью 54 км/ч. При этом на разгон он тратит 30 с, а затем некоторое время идет равномерно и на торможение до полной остановки тратит 10 с. Постройте график скорости движения поезда и определите наибольшую скорость поезда, его ускорение на первом участке пути и длину первого участка.

8. Тело, находящееся на высоте $H = 45$ м от земли, начинает падать без начальной скорости. Одновременно из точки, расположенной на расстоянии $L = 21$ м ниже первой, бросают второе тело вертикально вверх. Оба тела падают на землю одновременно. Определить начальную скорость второго тела.

9. За пятую секунду равнозамедленного движения точка проходит путь 5 см и останавливается. Какой путь проходит точка за третью секунду этого движения?

10. Аэростат поднимается с земли вертикально вверх с ускорением $0,1$ м/с². Через 40 с от начала движения из аэростата выпал предмет. Через сколько времени предмет упадет на землю? Каковы максимальная высота подъема предмета и средняя скорость прохождения пути от момента выпадения до момента падения на землю?

11. Мимо пункта А прошел автомобиль, который движется равномерно со скоростью 60 км/ч. Спустя 10 минут из пункта А в этом же направлении отправился мотоциклист, который, двигаясь равноускоренно, догнал автомобиль, достигнув скорости 140 км/ч. На каком расстоянии от пункта А мотоциклист догнал автомобиль?

12. Определить начальную скорость u_0 , с которой тело брошено вертикально вверх, если на высоте $h = 60$ м оно было два раза с промежутком времени 4 с. Найти максимальную высоту подъема тела. Соппротивление воздуха не учитывать.

13. Вертолет поднимается вертикально с ускорением 1 м/с². Через 10 с от начала подъема из него выпал предмет. Через сколько секунд после этого предмет упадет на землю?

14. Игрушечная ракета с работающим двигателем взлетает с земли вертикально вверх с ускорением 20 м/с². Затем двигатель выключают. Определить время работы двигателя, если максимальная высота подъема ракеты 750 м. Соппротивление воздуха не учитывать.

15. Тело свободно падает с высоты 80 м. Какой путь оно проходит за последнюю секунду падения? С какой скоростью оно падает на землю?

16. На каком расстоянии от цели должен сбросить груз самолет, летящий со скоростью 300 м/с на высоте 1000 м? Определите время падения груза, величину его конечной скорости.

17. Снаряд вылетел из орудия под углом 30° к горизонту и через 50 с упал на землю. Найти его начальную скорость, максимальную высоту подъема, максимальную дальность полета.

18. Тело брошено со скоростью 30 м/с под углом 60° к горизонту. Найти максимальную высоту подъема и время ее достижения.

19. В корзине аэростата установлена пушка, ствол которой расположен горизонтально. Аэростат начинает подниматься вверх с земли с ускорением $1,25 \text{ м/с}^2$. Через 8 с из пушки производится выстрел. На каком расстоянии от места старта аэростата упадет снаряд, если его скорость в момент выстрела 20 м/с. Сопротивление воздуха не учитывать.

20. Мяч брошен с края крыши дома вверх под углом 30° к горизонту со скоростью 10 м/с. Определить высоту дома, если на землю мяч упал на расстоянии 26 м от стены дома. Сопротивлением воздуха пренебречь.

21. С обрыва высотой 10 м брошен камень со скоростью 10 м/с под углом 30° к горизонту. Определить дальность полета камня в горизонтальном направлении, его скорость в момент падения и угол падения. Сопротивление воздуха не учитывать.

22. Мальчик вращает камень, привязанный к веревке длиной 0,5 м, в вертикальной плоскости, делая 3 об/с. На какую высоту взлетел камень, если веревка оборвалась в тот момент, когда скорость камня была направлена вертикально вверх?

23. Сверху на наклонную плоскость падает маленький шарик, после чего упруго отскакивает от него. Угол наклона плоскости к горизонту равен 30° (градусов дописать). 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

24. С какой высоты падало тело, если в последнюю секунду падения оно прошло путь 45 метров?

25. В течение какого времени падало тело, если в последнюю секунду падения оно прошло $\frac{3}{4}$ всего пути? Начальная скорость тела равна 0.

ГЛАВА II

ДИНАМИКА

§ 1. Сила. Масса. Закон Гука

В процессе взаимодействия тел друг с другом тела деформируются, и скорости их движения изменяются. *Мерой механического воздействия на данное тело со стороны других тел является векторная величина \vec{F} , называемая силой.*

СИ $[F] = 1 \text{ Н}$ (ньютон).

Различают деформацию упругую и пластическую. Деформация называется упругой, если после прекращения действия силы тело принимает первоначальную форму и размеры. При такой деформации возникает сила упругости $\vec{F}_{\text{упр}}$ – это сила, восстанавливающая то состояние, которое было до деформации.

Возьмем пружину и приложим к ней силу \vec{F} (в одном случае растягивающую пружину, а в другом – сжимающую). Появится сила упругости $\vec{F}_{\text{упр}}$, равная по модулю силе \vec{F} и противоположная ей по направлению (рис. 1):

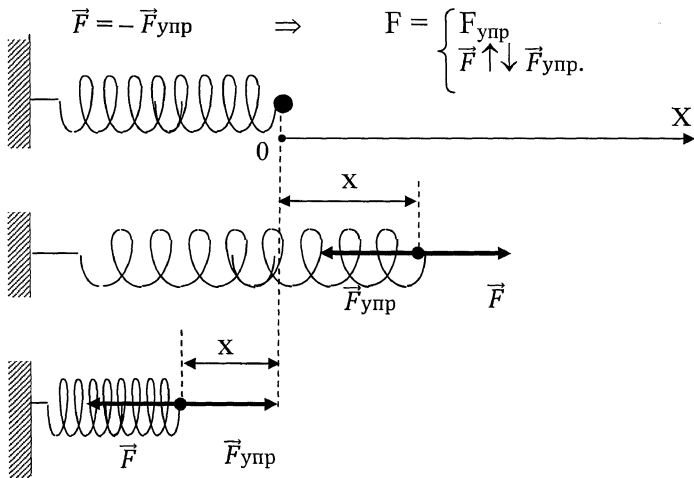


Рис. 1

Начало оси X совместим с концом недеформированной пружины.

Закон Гука: в пределах упругой деформации сила упругости прямо пропорциональна абсолютному удлинению (сжатию) x пружины. Математическая запись закона Гука для проекции упругой силы

$$F_{\text{упр}x} = -kx \quad (1)$$

Здесь k – жесткость пружины. Если вместо пружины взять какое либо тело, то k – коэффициент упругости данного тела. Координату x называют также величиной деформации. Знак минус в уравнении (1) показывает, что проекция упругой силы на ось X и координата x имеют противоположные знаки.

Математическая запись закона Гука для модуля упругой силы имеет вид

$$F_{\text{упр}} = k|x| \quad (2)$$

Причиной изменения скорости тела является действующая на него сила. **Свойство тела сохранять свою скорость неизменной в отсутствие действия на него силы называется инертностью. Мерой инертности тела при поступательном движении является его масса m .**

СИ $[m] = 1 \text{ кг}$.

Масса является величиной аддитивной, то есть масса системы тел равна сумме масс тел, составляющих систему:

$$m = m_1 + m_2 + \dots + m_n.$$

Отношение массы тела к его объему называется плотностью ρ :

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

§ 2. Законы Ньютона

Первый закон Ньютона: любая материальная точка находится в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения, если на нее не действуют силы или действие сил скомпенсировано.

Явление сохранения скорости движения при компенсации сил, действующих на материальную точку, называется инерцией. Поэтому первый закон Ньютона называют также законом инерции. **Система отсчета, в**

которой выполняется первый закон Ньютона (закон инерции), называется инерциальной, в которой не выполняется – неинерциальной.

Второй закон Ньютона: ускорение материальной точки в инерциальной системе отсчета прямо пропорционально силе, приложенной к материальной точке, и обратно пропорционально его массе:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \quad (4)$$

Если к материальной точке приложено n сил $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$, то в формуле (4) под \vec{F} понимают равнодействующую, то есть векторную сумму всех сил

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n. \quad (5)$$

$$\left. \begin{array}{l} (4) \\ (5) \end{array} \right\} \Rightarrow \boxed{m\vec{a} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n} \quad (6)$$

Третий закон Ньютона: в инерциальной системе отсчета тела действуют друг на друга с силами, равными по модулю и противоположными по направлению:

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2 \quad (7)$$

Здесь \vec{F}_1 – сила, действующая на первое тело со стороны второго, а \vec{F}_2 – сила, действующая на второе тело со стороны первого. Знак минус указывает на противоположную направленность сил \vec{F}_1 и \vec{F}_2 (рис. 2).

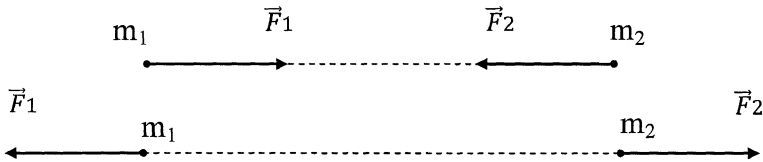


Рис. 2

В частности, \vec{F}_1 и \vec{F}_2 могут быть силами гравитационного взаимодействия (силы притяжения) или силами электростатического взаимодействия (силы притяжения в случае разноименных зарядов и силы отталкивания в случае одноименных зарядов). Силы взаимодействия материальных точек имеют центральный характер, то есть направлены вдоль соединяющей их прямой.

§ 3. Сила тяжести. Вес

Сила тяжести $m\vec{g}$ – это сила притяжения тела к Земле, то есть это сила, которая действует на тело со стороны Земли.

Вес тела \vec{P} – это сила, с которой тело вследствие притяжения к Земле действует на опору или подвес. Следовательно, вес приложен не к телу, а к опоре или подвесу.

Рассмотрим два случая: тело находится на горизонтальной опоре (рис. 3), и тело подвешено на нити (рис. 4). Вследствие притяжения к Земле тело действует на опору с силой нормального давления, которая представляет собой вес тела \vec{P} . По третьему закону Ньютона опора действует на тело с такой же по модулю силой \vec{N} , называемой силой нормальной реакции опоры:

$$\boxed{P = N} \quad (8)$$

Тело, подвешенное на нити (рис. 4), вследствие притяжения к Земле действует на нить с силой натяжения, которая представляет собой вес тела \vec{P} . По третьему закону Ньютона нить действует на тело с такой же по модулю силой \vec{T} , называемой силой упругости или силой упругой реакции нити:

$$\boxed{P = T} \quad (9)$$

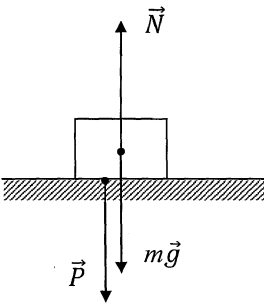


Рис. 3

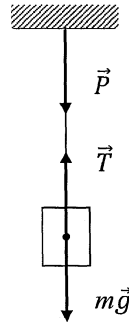


Рис. 4

Пример. На полу лифта лежит груз массой m . Лифт поднимается равнозамедленно с ускорением a . Найти вес груза.

Дано:

m – масса груза

a – ускорение груза

$\vec{a} \uparrow \vec{v}$, так как движение равнозамедленное. Покажем векторы скоро-

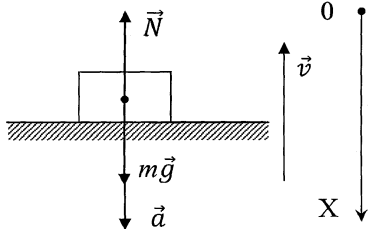


Рис. 5

сти \vec{v} и ускорения \vec{a} на рис. 5. Кроме того, изобразим на рисунке силы, приложенные к грузу (сила нормальной реакции опоры \vec{N} и силы тяжести $m\vec{g}$). Систему отсчета свяжем с Землей, а груз будем считать материальной точкой, так как он движется поступательно.

Запишем второй закон Ньютона (6) для груза:

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N}. \quad (10)$$

Ось X сонаправим с вектором ускорения и спроецируем векторные величины в уравнении (10) на ось X :

$$ma = mg - N. \quad (11)$$

По третьему закону Ньютона вес груза

$$P = N. \quad (12)$$

$$\left. \begin{array}{l} (11) \\ (12) \end{array} \right\} \Rightarrow P = m(g - a).$$

Если $a = g$, то $P = 0$. В этом случае имеет место состояние невесомости. Это значит, что груз не давит на опору, а опора, в свою очередь, не действует на груз.

§ 4. Всемирное тяготение

Согласно опыту все тела притягиваются друг к другу.

Закон всемирного тяготения: *две материальные точки притягиваются друг к другу с силой, прямо пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними.*

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}. \quad (13)$$

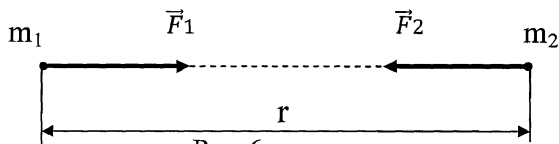


Рис. 6

Здесь m_1 и m_2 – массы взаимодействующих материальных точек; r – расстояние между ними; $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Нм}^2}{\text{кг}^2}$ – гравитационная постоянная (постоянная тяготения).

Формула (13) справедлива и для однородных тел шарообразной формы. В этом случае под величиной r понимают расстояние между центрами шаров. По данной формуле рассчитывают силу притяжения к Земле находящегося на ней тела. Если

m – масса тела, M_3 – масса Земли, R_3 – радиус Земли, то выражение (13) примет вид

$$F = G \frac{mM_3}{R_3^2}. \quad (14)$$

Если яблоко, которое висит на дереве, притягивается к Земле с силой 2 Н, то и Земля притягивается к данному яблоку с силой 2 Н.

Если не учитывать суточное вращение Земли (в этом случае Земля является инерциальной системой отсчета), то сила тяжести

$$F_{\text{тяж}} = mg \quad (15)$$

совпадает с силой F (14). Следовательно, приравняв правые части уравнений (14) и (15), получаем

$$g = G \frac{M_3}{R_3^2}. \quad (16)$$

По формуле (16) можно определить ускорения свободного падения $g_{\text{п}}$ на любой другой планете

$$g_{\text{п}} = G \frac{M_{\text{п}}}{R_{\text{п}}^2},$$

где $M_{\text{п}}$ – масса планеты; $R_{\text{п}}$ – радиус планеты.

Движение искусственного спутника Земли происходит только под действием силы тяжести, которая сообщает спутнику ускорение свободного падения g , являющееся одновременно центростремительным ускорением $a_{ц}$:

$$\left. \begin{aligned} a_{ц} &= g \\ a_{ц} &= \frac{v^2}{r} \end{aligned} \right\} \Rightarrow g = \frac{v^2}{r} \Rightarrow v^2 = gr. \quad (17)$$

Если спутник движется вблизи поверхности Земли, то (17) примет вид

$$v = \sqrt{gR_3} = \sqrt{9,8 \cdot 6,37 \cdot 10^6} = 7,9 \cdot 10^3 \text{ м/с} = 7,9 \text{ км/с}.$$

Эта скорость называется первой космической скоростью. Обычно спутники запускают на высоте 300 ... 400 км. Так, для $h = 300$ км формула (17) с учетом (16) примет вид

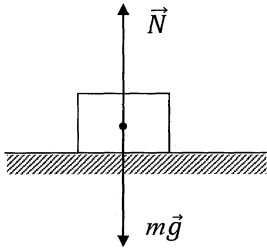
$$v^2 = G \frac{M_3}{(R_3 + h)^2} \cdot (R_3 + h) \Rightarrow v = \sqrt{G \frac{M_3}{R_3 + h}}. \quad (18)$$

Рассчитанная по выражению (18) первая космическая скорость $v = 7,8$ км/с.

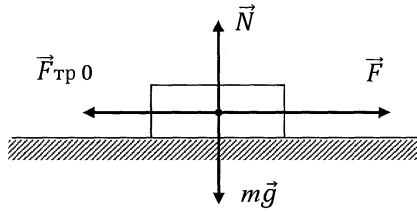
При скорости 11,2 км/с спутник преодолевает притяжение к Земле и уходит в космическое пространство. Эта скорость $v = 11,2$ км/с называется второй космической скоростью.

§ 5. Сила трения

При относительном движении соприкасающихся тел между их поверхностями действуют силы трения, направленные по касательным к этим поверхностям. Рассмотрим возникновение силы трения. Пусть на горизонтальной поверхности лежит



а)



б)

Рис.7

тело массой m (рис 7. а). На тело действуют две силы: сила тяжести и сила нормальной реакции опоры \vec{N} . Приложим к телу еще одну силу \vec{F} (рис.7 б). Тело остается в покое, так как появилась сила трения покоя $\vec{F}_{\text{тр}0}$, препятствующая возникновению движения. Причем, по модулю эти силы равны

$$F_{\text{тр}0} = F.$$

При увеличении силы F возрастает и сила $F_{\text{тр}0}$ до предельного значения $F_{\text{тр}0}^{\text{max}}$. Движение тела возникает при $F > F_{\text{тр}0}^{\text{max}}$. При движении тела на него также действует сила трения, которую называют силой трения скольжения $\vec{F}_{\text{тр}}$. Согласно опыту модуль силы трения скольжения

$$F_{\text{тр}} = \mu N.$$

Здесь μ – безразмерная величина, называемая коэффициентом трения скольжения. Сила трения скольжения направлена противоположно перемещению тела $\vec{F}_{\text{тр}} \uparrow \downarrow \vec{v}$. Здесь \vec{v} – скорость тела.

§ 6. Неинерциальные системы отсчета

Системы отсчета, движущиеся относительно инерциальной системы отсчета (ИСО) с ускорением, называются неинерциальными (НСО). Пусть НСО движется поступательно относительно ИСО с ускорением \vec{a} . В этом случае при описании поступательного движения тела в НСО вводят силу инерции $\vec{F}_{\text{ин}}$, равную

$$\vec{F}_{\text{ин}} = -m\vec{a} \Rightarrow \vec{F}_{\text{ин}} \uparrow \downarrow \vec{a}.$$

Проявление силы инерции при поступательном движении имеет место в повседневных явлениях. Например, на гладком горизонтальном полу вагона поезда, движущегося равномерно и прямолинейно, лежит шар (рис. 8^а). Если поезд начнет на-

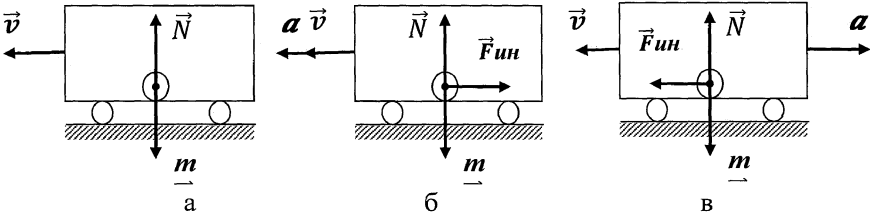


Рис. 8

бирать скорость (движение ускоренное), то шар под действием силы инерции покатится назад (рис. 8^б) и наоборот, при торможении поезда (движение замедленное) шар под действием силы инерции покатится вперед по ходу поезда (рис. 8^в).

§ 7. Примеры решения задач

Задача 1

Груз массой m движется равномерно по горизонтальной поверхности под действием силы \vec{F} , направленной под углом α к горизонту. Сделайте рисунок, покажите на нем все силы, действующие на груз, и найдите величины силы трения и веса груза.

Дано:

m – масса груза

\vec{F} – сила тяги

α – угол между вектором силы и вектором перемещения

$\vec{v} = \text{const}$

$F_{\text{тр}}$; P

Так как груз совершает поступательное движение, то его примем за материальную точку. Систему отсчета свяжем с землей. Оси X и Y наведем соответственно вправо и вверх (рис. 9). На груз действует сила тяжести $m\vec{g}$, сила тяги \vec{F} , сила нормальной реакции опоры \vec{N} и сила трения $\vec{F}_{\text{тр}}$. Под силой трения в данном случае понимают силу трения скольжения. Груз по условию задачи движется равномерно и прямолинейно.

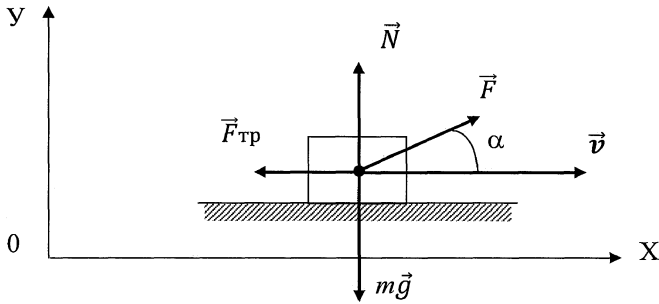


Рис. 9

Следовательно, векторная сумма сил, приложенных к нему, согласно первому закону Ньютона равна нулю

$$\vec{F} + m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}} = 0. \quad (19)$$

Спроецируем векторные величины в уравнении (14) на ось X:

$$F \cos \alpha - F_{\text{тр}} = 0.$$

Откуда $F_{\text{тр}} = F \cos \alpha.$

Вес груза приложен к опоре и согласно третьему закону Ньютона равен по модулю силе нормальной реакции опоры

$$P = N. \quad (20)$$

Спроецируем векторные величины в уравнении (19) на ось Y:

$$\begin{aligned} F \sin \alpha - mg + N &= 0 \Rightarrow \\ N &= mg - F \sin \alpha. \end{aligned} \quad (21)$$

Решая совместно (20) и (21), получаем

$$\left. \begin{array}{l} (20) \\ (21) \end{array} \right\} \Rightarrow P = mg - F \sin \alpha.$$

Ответ: сила трения $F_{\text{тр}} = F \cos \alpha$; вес груза $P = mg - F \sin \alpha.$

Задача 2

Два груза массами 0,8 кг и 0,4 кг соединены нитью, перекинутой через невесомый блок, подвешенный на пружинных весах. Найти ускорение каждого груза, вес каждого груза и показание пружинных весов. Нить невесома и нерастяжимая.

Дано:

$$m_1 = 0,8 \text{ кг}$$

$$m_2 = 0,4 \text{ кг}$$

а, P_1 , P_2 , P

Систему отсчета свяжем с телом, на котором укреплен блок. Грузы в условиях задачи можно принять за материальные точки. Оси X_1 и X_2 направим соответственно вдоль ускорений первого и второго грузов (рис. 10). К первому грузу приложена сила тяжести $m_1\vec{g}$ и сила упругой реакции нити

\vec{T}_1 , ко второму грузу – сила тяжести $m_2\vec{g}$ и сила упругой реакции нити \vec{T}_2 .

Запишем для каждого груза динамическое уравнение движения:

$$m_1\vec{a} = m_1\vec{g} + \vec{T}_1, \quad (22)$$

$$m_2\vec{a} = m_2\vec{g} + \vec{T}_2. \quad (23)$$

Спроецируем (22) и (23) на ось X_1 и X_2 . Учтем, что $a_1 = a_2 = a$, так как нить нерастяжимая. При невесомости нити и блока и отсутствии в нем сил трения

$T_1 = T_2 = T$. Тогда

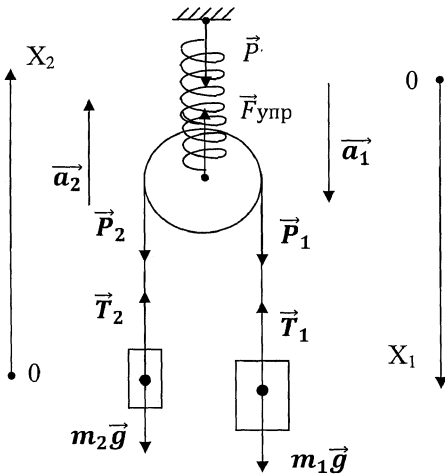


Рис. 10

$$\left. \begin{aligned} m_1 a &= m_1 g - T, \\ m_2 a &= -m_2 g + T. \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

Решая систему уравнений (24) с двумя неизвестными a и T , получаем

$$a = g \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 + m_2)}.$$

Подставляя числовые значения, находим

$$a = 9,8 \frac{(0,8 - 0,4)}{(0,8 + 0,4)} = 3,3 \text{ м/с}^2.$$

Сила упругой реакции нити

$$T = m_2 (a + g) = 0,4(3,3 + 9,8) = 5,2 \text{ Н.}$$

Так как по третьему закону Ньютона вес первого груза P_1 и вес второго груза

P_2 соответственно равны: $P_1 = T_1$, $P_2 = T_2$, то легко видеть, что

$$P_1 = P_2 = T = 5,2 \text{ Н.}$$

Для определения показания пружинных весов рассмотрим равновесие блока, к которому приложены три силы: \vec{P}_1 , \vec{P}_2 и сила упругости $\vec{F}_{\text{упр}}$ пружины (рис. 10). Блок растянул пружину и пришел в равновесное состояние. Условие равновесия блока:

$$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \vec{F}_{\text{упр}} = 0. \quad (25)$$

Спроецировав (25) на ось X_1 , получим

$$F_{\text{упр}} = P_1 + P_2.$$

Сила упругости $\vec{F}_{\text{упр}}$ по модулю равна весу P , который приложен к пружине:

$$P = P_1 + P_2 = 10,4 \text{ Н.}$$

Ответ: ускорение грузов $a = 3,3 \text{ м/с}^2$, вес первого груза равен весу второго груза $P_1 = P_2 = 5,2 \text{ Н}$, показание пружинных весов $P = 10,4 \text{ Н}$.

Задача 3

Тело массой 2 кг соскальзывает с наклонной плоскости. Угол наклона плоскости равен 30° , ее длина 5 м, коэффициент трения 0,1. Начальная

скорость равна нулю. Найти вес тела и время его спуска с наклонной плоскости.

Дано:

$$m = 2 \text{ кг}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$l = 5 \text{ м}$$

$$\mu = 0,1$$

$$v_0 = 0$$

Тело примем за материальную точку. Начертим схематический рисунок (рис. 11). Тело взаимодействует с Землей и наклонной плоскостью. На него действуют сила тяжести $m\vec{g}$, сила нормальной реакции опоры \vec{N} и сила трения $\vec{F}_{\text{тр}}$.

Запишем динамическое уравнение движения

$P; t$

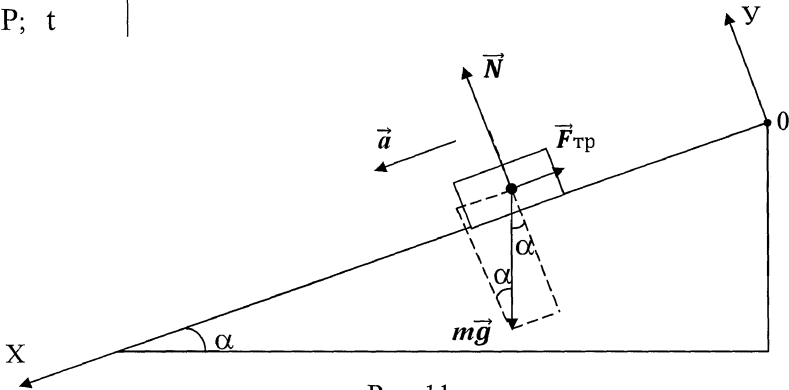


Рис. 11

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}}. \quad (26)$$

Спроецируем (26) на ось X:

$$ma = mg\sin\alpha - F_{\text{тр}}, \quad (27)$$

и на ось Y:

$$0 = -mg\cos\alpha + N. \quad (28)$$

Из уравнения (28) найдем

$$N = mg\cos\alpha,$$

а так как вес тела по третьему закону Ньютона равен силе нормальной реакции опоры ($P = N$), то

$$P = mg\cos\alpha.$$

Подставив числовые значения в данное выражение, получим

$$P = 2 \cdot 9,8 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 17 \text{ Н.}$$

Сила трения скольжения определяется по формуле

$$F_{\text{тр}} = \mu N.$$

Учитывая (28), получаем

$$F_{\text{тр}} = \mu mg \cos \alpha. \quad (29)$$

Решим совместно (27) и (29):

$$ma = mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha,$$

откуда ускорение тела

$$a = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha). \quad (30)$$

Время спуска тела с наклонной плоскости найдем из уравнения пути при равноускоренном движении

$$l = v_0 t + \frac{at^2}{2}.$$

Так как $v_0 = 0$, то $t = \sqrt{\frac{2l}{a}}$. Подставим в данную формулу выражение (30):

$$t = \sqrt{\frac{2l}{g(\sin 30^\circ - 0,1 \cos 30^\circ)}}.$$

Проведем расчет:

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot 5}{9,8(\sin 30^\circ - 0,1 \cos 30^\circ)}} = 1,6 \text{ с.}$$

Ответ: вес тела $P = 17 \text{ Н}$, время его спуска с наклонной плоскости $t = 1,6 \text{ с}$.

Задача 4

Автомобиль массой $5 \cdot 10^3$ кг проходит по выпуклому мосту со скоростью 21,6 км/ч. Каков вес автомобиля в верхней точке моста, если радиус кривизны моста 50 м ?

Дано:	СИ
$m = 5 \cdot 10^3$ кг	
$v = 21,6$ км/ч	6 м/с
$R = 50$ м	
Р	

Автомобиль примем за материальную точку. Систему отсчета свяжем с землей. Изобразим схематический рисунок, иллюстрирующий задачу (рис. 12).

К автомобилю приложена сила тяжести $m\vec{g}$, сила нормальной реакции опоры \vec{N} , сила тяги \vec{F} и сила трения $\vec{F}_{\text{тр}}$. В верхней точке моста автомобиль имеет только центростремительное ускорение \vec{a}_c .

Запишем динамическое уравнение движения

$$m\vec{a}_c = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F} + \vec{F}_{\text{тр}},$$

которое в проекции на ось X имеет вид

$$ma_c = mg - N.$$

Вес автомобиля $P = N$, а центростремительное ускорение определяется по формуле $a_c = \frac{v^2}{R}$. Поэтому

$$m \frac{v^2}{R} = mg - P.$$

Откуда

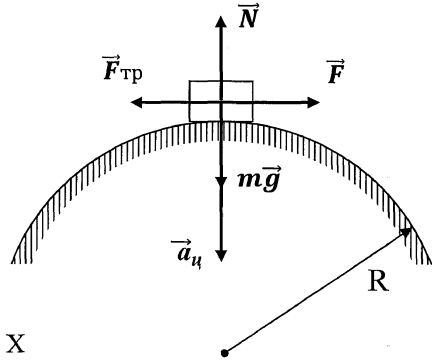


Рис. 12

$$P = mg - m \frac{v^2}{R}.$$

Подставляя числовые значения, получаем

$$P = 5 \cdot 10^3 \left(9,8 - \frac{36}{50} \right) = 45,4 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Ответ: вес автомобиля в верхней точке моста 45,4 кН.

Задача 5

Определить период обращения и линейную скорость искусственного спутника, движущегося вокруг Земли на высоте 300 км от ее поверхности.

Дано: На спут- $h = 300 \text{ км}$ жения \vec{F}	СИ $0,3 \cdot 10^6 \text{ м}$	Спутник примем за материальную точку. ник действует только сила земного притя- (рис. 13). Здесь R – радиус Земли; r – радиус орбиты спутника. Спутник равномерно движется по окружности радиуса r и поэтому имеет центростремительное ускорение $\vec{a}_ц$.
--	----------------------------------	---

Запишем динамическое уравнение движения спутника:

$$m \vec{a}_ц = \vec{F}.$$

Перепишем данное уравнение в проекции на ось X :

$$ma_ц = F. \quad (31)$$

Сила притяжения согласно закону всемирного тяготения

$$F = G \frac{mM}{r^2} = G \frac{mM}{(R+h)^2}. \quad (32)$$

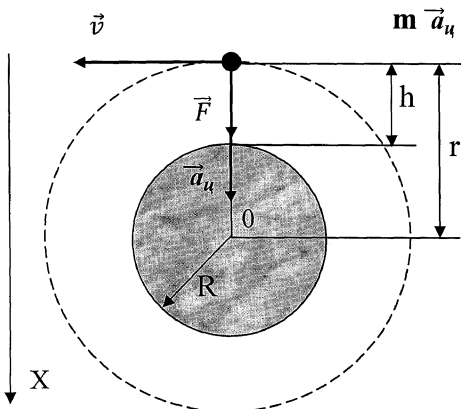


Рис. 13

Здесь m – масса спутника; $M = 6 \cdot 10^{24}$ кг – масса Земли; $R = 6,37 \cdot 10^6$ м – радиус Земли; $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Нм}^2}{\text{кг}^2}$ – гравитационная постоянная. Решая

совместно (31) и (32) и учитывая, что $a_{\text{ц}} = \frac{v^2}{r} = \frac{v^2}{R+h}$, получаем

$$m \frac{v^2}{R+h} = G \frac{mM}{(R+h)^2},$$

откуда

$$v = \sqrt{G \frac{M}{R+h}}.$$

Проведем вычисления

$$v = \sqrt{6,67 \cdot 10^{-11} \frac{6 \cdot 10^{24}}{6,37 \cdot 10^6 + 0,3 \cdot 10^6}} = 7,75 \cdot 10^3 \text{ м/с}.$$

Период обращения спутника найдем по формуле

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi(R+h)}{v}.$$

Подставим числовые значения и проведем расчет

$$T = \frac{6,28(6,37 \cdot 10^6 + 0,3 \cdot 10^6)}{7,75 \cdot 10^3} = 5,4 \cdot 10^3 \text{ с}.$$

Ответ: период обращения спутника $T = 5,4 \cdot 10^3$ с; его линейная скорость $v = 7,75 \cdot 10^3$ м/с.

§ 8. Задания для самостоятельной работы с выбором ответа

1. Равнодействующая двух сил, действующих на материальную точку $F_1 = F_2 = 2$ Н, направленных под углом 120° друг к другу, равна

Ответ: _____ Н

2. Сила в 18 Н вертикальна. Одна из ее составляющих горизонтальна и равна 24 Н. Найти вторую составляющую.

Ответ: _____ Н

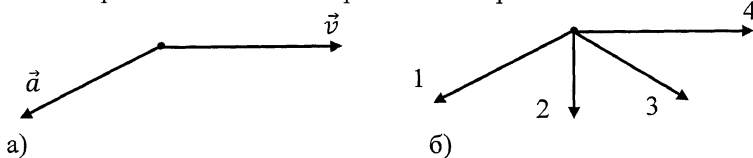
3. На тело действуют две силы $F_1 = 3$ Н и $F_2 = 4$ Н. Угол между ними 90° . Других сил нет. Чему равно ускорение тела, если его масса 2 кг?

Ответ: _____ м/с²

4. Тело массой 10 кг движется по закону $x = 4 + 3t - t^2$ (м) под действием результирующей силы, проекция которой на ОХ равна

Ответ: _____ Н

5. На рис. А показаны направления скорости

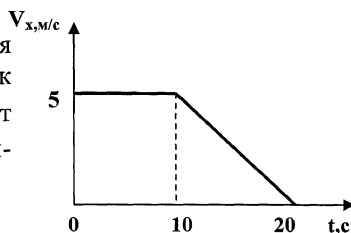


и ускорения тела в данный момент времени. Какая из стрелок (1–5) на рис. Б соответствует направлению результирующей всех сил, действующих на тело?

Ответ: _____

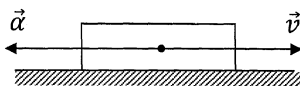
6. Поезд массой $2 \cdot 10^6$ кг движется вдоль оси X. На рисунке представлен график зависимости проекции его скорости v_x от времени t . Определите проекцию равнодействующей силы в момент времени $t = 14$ с.

- 1) $F_x = 6 \cdot 10^6$ Н; 2) $F_x = 1 \cdot 10^6$ Н;
3) $F_x = -6 \cdot 10^6$ Н; 4) $F_x = -1 \cdot 10^6$ Н.

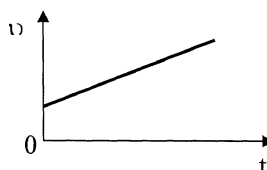


7. Автомобиль при экстренном торможении движется с ускорением \vec{a} , модуль которого равен 2 м/с² (см. рисунок). Масса автомобиля 500 кг. Чему равен модуль равнодействующей силы \vec{F} и куда направлен вектор \vec{F} ?

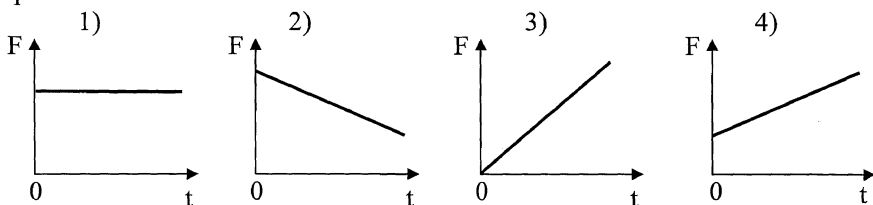
- 1) 1000 Н; направление вектора \vec{F} совпадает с вектором \vec{v} ;
2) 1000 Н; направление вектора \vec{F} совпадает с вектором \vec{a} ;
3) 250 Н; направление вектора \vec{F} совпадает с вектором \vec{a} ;
4) 250 Н; направление вектора \vec{F} совпадает с вектором \vec{v} .



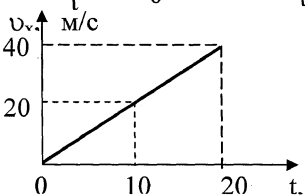
8. На рисунке справа приведен график зависимости модуля скорости тела, движущегося прямолинейно, от времени. Какой из графиков выражает зависимость модуля равнодей-



вующей всех сил, действующих на тело, от времени?



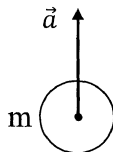
9. Модуль скорости движения тела массой 3 кг изменяется со временем в соответствии с графиком (см. рисунок). Модуль силы, действующей на тело в момент времени $t = 10$ с, равен



Ответ: _____ Н

10. Тело массой 2 кг движется вертикально вверх с ускорением, модуль которого равен 3 м/с^2 (см. рисунок). Каковы величина и направление равнодействующей силы \vec{F} , действующей на тело?

- 1) $3/2$ Н; вертикально вниз;
- 2) 6 Н; вертикально вверх;
- 3) 6 Н; вертикально вниз;
- 4) $2/3$ Н; вертикально вверх.



11. Мяч неподвижно лежавший на полу вагона поезда, движущегося относительно Земли, покатился вперед по ходу поезда. Что можно сказать о скорости поезда?

- 1) увеличилась;
- 2) уменьшилась;
- 3) не изменилась;
- 4) изменилась по направлению.

12. Тело движется прямолинейно так, что его координата изменяется со временем t в соответствии с уравнением $x = 5t^2$. Сила, действующая на тело,

- 1) постоянна, не равна нулю;
- 2) равна нулю;
- 3) возрастает;
- 4) убывает.

13. При исследовании зависимости силы трения скольжения $F_{\text{тр}}$ от силы давления $F_{\text{д}}$ были получены следующие данные:

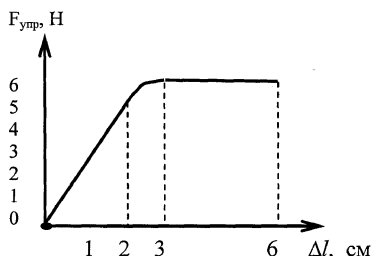
$F_{\text{тр}}, \text{ Н}$	0,2	0,4	0,6	0,8
$F_{\text{д}}, \text{ Н}$	1,0	2,0	3,0	4,0

14. Из результатов исследования можно заключить, что коэффициент трения скольжения равен

Ответ: _____

15. Определите по графику, при каких значениях удлинения (Δl) шнура возникающая в нем сила упругости меняется по закону Гука.

- 1) от 0 до 2 см;
- 2) от 2 см до 3 см;
- 3) от 3 см до 6 см;
- 4) от 0 до 2 см и от 3 см до 6 см.

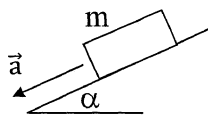


16. Сила натяжения нити длиной l математического маятника при прохождении им положения равновесия равна $3mg$. Чему равно центростремительное ускорение?

- 1) $1/2g$;
- 2) g ;
- 3) $3/2g$;
- 4) $2g$.

17. Чему равен вес тела, скользящего без трения по наклонной плоскости?

- 1) mg ;
- 2) $mg \cos \alpha$;
- 3) $mg \sin \alpha$;
- 4) $(mg \sin \alpha - ma)$.



18. С каким ускорением a нужно поднимать гирию, чтобы ее вес увеличился в 3 раза?

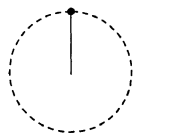
- 1) $2g$;
- 2) $4g$;
- 3) g ;
- 4) $g/4$.

19. Ускорение свободного падения на высоте над поверхностью Земли, равной двум радиусам Земли, равно ...

- 1) $g/3$;
- 2) $g/9$;
- 3) $g/2$;
- 4) $g/4$.

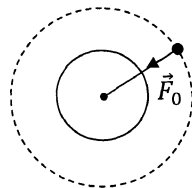
20. Шарик вращается на нити в вертикальной плоскости (см. рисунок). В верхней точке шарик действует на нить с силой 3 Н. Сила, с которой нить в этой точке действует на шарик,

- 1) равна 3 Н и направлена вниз;
- 2) равна 3 Н и направлена вверх;
- 3) больше 3 Н и направлена вниз;
- 4) больше 3 Н и направлена вверх.



21. На искусственный спутник Земли массой 10^3 кг действует сила тяготения $F_0 = 10^4$ Н (см. рисунок). На Землю со стороны спутника

- 1) действует сила 10^4 Н, направленная в любой момент времени в сторону, противоположную \vec{F}_0 ;
- 2) не действует никакая сила;
- 3) действует сила $2 \cdot 10^4$ Н, направленная в любой момент времени в сторону, противоположную \vec{F}_0 ;
- 4) действует сила 10^4 Н, направленная в любой момент времени в ту же сторону, что и \vec{F}_0 .



22. Планета (массой m) движется вокруг Солнца (массой M). Зависимость ускорения a планеты от ее расстояния r до Солнца имеет вид

1) $a = G \frac{m}{r^2}$; 2) $a = G \frac{M}{r^2}$; 3) $a = G \frac{1}{r^2}$; 4) $a = \frac{1}{r^2}$.

23. Во сколько раз сила притяжения к Солнцу больше для Земли, чем для Марса? Масса Марса составляет $1/10$ массы Земли, а расположен он в $1,5$ раза дальше от Солнца, чем Земля.

Ответ: _____ раз

24. Шар массы m притягивается к Земле с силой $F_1 = mg$. Какова сила притяжения Земли к шару? Масса Земли равна M .

1) 0; 2) mg ; 3) Mg ;

4) нельзя дать точный ответ, так как неизвестно расстояние между шаром и Землей.

25. Тело массой 10 кг лежит на наклонной плоскости, составляющей 30 градусов с горизонтом, коэффициент трения равен $0,8$. Чему равна сила трения?

Ответ: _____ Н

26. Тело массой 10 кг лежит на краю диска радиусом 2 м, вращающимся с угловой скоростью 2 рад/с. Чему равна сила трения?

Ответ: _____ Н

27. Известно, что ускорение свободного падения на некоторой планете такое же, как и на Земле, а её радиус в 4 раза меньше радиуса Земли. Определите отношение массы данной планеты к массе Земли.

Ответ: _____

§ 9. Задания для самостоятельной работы с кратким ответом

1. На тело действуют силы 3 Н и 4 Н. Угол между ними 90° . Других сил нет. Чему равно ускорение тела, если его масса 5 кг?

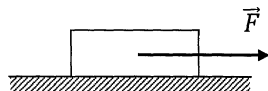
Ответ: _____ м/с²

2. Тело массой 2 кг движется прямолинейно по закону $x = 4 - 2t$ (м). Чему равна проекция равнодействующей силы на ось Ox ?

Ответ: _____ Н.

3. Тело массой 10 кг движется равномерно под действием силы $F = 100$ Н. Чему равна сила трения скольжения?

Ответ: _____ Н.



4. Груз равномерно движется по горизонтальной поверхности под действием силы 10 Н, направленной под углом 30° к горизонту. Определите силу трения.

Ответ: _____ Н.

5. Найдите равнодействующую трех сил по 100 Н каждая, если углы между первой и второй силами и между второй и третьей силами равны 60°

Ответ: _____ Н.

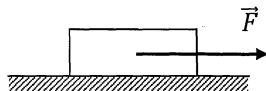
6. Найдите модуль равнодействующей двух сил в 30 Н и 40 Н, приложенных в одной точке, если угол между их направлениями равен 180° .

Ответ: _____ Н.

7. Чему равно ускорение свободного падения на высоте, равной половине радиуса Земли?

Ответ: _____ м/с²

8. Тело массой 10 кг движется равномерно под действием силы \vec{F} , равной 300 Н. Чему равен вес тела?



Ответ: _____ Н.

9. Под действием силы 2 Н пружина удлинилась на 5 см. Каково удлинение пружины под действием силы 3 Н? (Ответ в [см]).

10. Под действием силы 100 Н пружина длиной 20 см растянулась до 25 см. Чему равна жесткость пружины?

Ответ: _____ Н/м

11. С каким ускорением нужно поднимать тело, чтобы вес его увеличился в 2 раза? Ответ: _____ м/с²

12. Чему равен вес человека массой 70 кг, опускающемся в лифте с постоянной скоростью 5 м/с?

Ответ: _____ Н.

13. Во сколько раз уменьшится сила притяжения к Земле космического корабля при его удалении от поверхности Земли на расстояние, равное радиусу Земли?

Ответ: _____

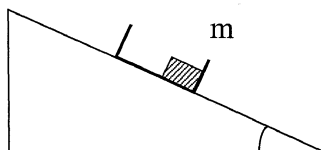
14. У поверхности Земли на тело действует сила всемирного тяготения 36 Н. Чему равна сила тяготения на расстоянии $2R$ от поверхности Земли. Здесь R – радиус Земли.

Ответ: _____ Н.

15. С помощью каната, перекинутого через неподвижный блок, человек массой 75 кг удерживает на весу груз массой 24 кг. Определите силу давления человека на пол, если канат, который держит человек, направлен под углом 30° (градусов) к вертикали.

Ответ: _____ Н

16. С вершины наклонной плоскости из состояния покоя скользит с ускорением легкая коробочка, в которой находится груз массой m (см. рисунок). Как изменяется время движения, скорость и модуль работы силы трения,



если с той же наклонной плоскости будет скользить та же коробочка с грузом массой $2m$?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

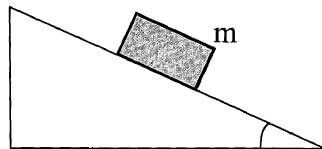
- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться

Ответ:

Время движения	Скорость	Модуль работы силы трения

17. С вершины наклонной плоскости из состояния покоя скользит с ускорением брусок массой m (см. рисунок). Как изменится время движения, ускорение бруска и сила трения, действующая на брусок, если с той же наклонной плоскости будет скользить брусок из того же материала массой $3m$?



Для каждой величины определите соответствующий характер ее изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться

Ответ:

Время движения	Ускорение	Сила трения

18. Поставьте в соответствие физическую величину и единицу ее измерения в СИ. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА	ЕДИНИЦА ВЕЛИЧИНЫ
А) плотность	1) $\frac{м}{с^2}$
Б) ускорение	2) $\frac{кг \cdot м}{с^2}$
В) сила	3) $\frac{кг}{м^3}$

Ответ:

А	Б	В

19. В результате перехода с одной круговой орбиты на другую центростремительное ускорение спутника Земли уменьшается. Как изменяются в результате этого перехода радиус орбиты спутника, скорость его движения по орбите и период обращения вокруг Земли?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличилась
- 2) уменьшилась
- 3) не изменилась

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться

Ответ:

Радиус орбиты	Скорость движения по орбите	Период обращения вокруг Земли

20. В результате торможения в верхних слоях атмосферы высота полета искусственного спутника над Землей уменьшилась с 400 до 300 км. Как изменились в результате этого скорость спутника, его центростремительное ускорение и период обращения?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

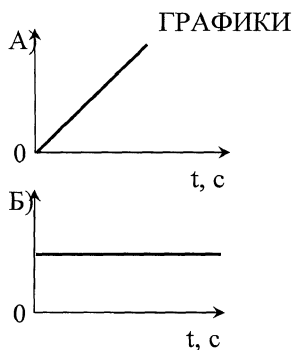
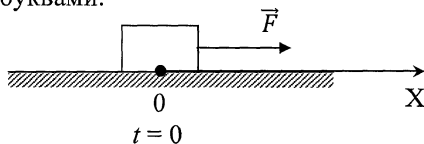
- 1) увеличилась
- 2) уменьшилась
- 3) не изменилась

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться

Ответ:

Скорость	Ускорение	Период обращения

21. Точечное тело находится на гладкой горизонтальной поверхности. В момент времени $t = 0$ на него в направлении оси Ox начинает действовать постоянная сила \vec{F} . Установите соответствие между графиками и физическими величинами, зависимости которых от времени эти графики могут представлять. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.



- ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ**
- 1) проекция скорости тела на ось Ox
 - 2) проекция ускорения тела на ось Ox
 - 3) путь, пройденный телом
 - 4) изменение координаты тела

Ответ:

А	Б

22. Свинцовый шарик охлаждают в холодильнике. Как при этом меняется внутренняя энергия шарика, его масса и плотность вещества шарика?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться

- | ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА | ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ |
|-----------------------|--------------------|
| А) внутренняя энергия | 1) увеличивается |
| Б) масса | 2) уменьшается |
| В) плотность | 3) не изменяется |

Ответ:

А	Б	В

23. Тело массой m скользит равномерно вниз по наклонной плоскости с углом α при основании наклонной плоскости. Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

- А) коэффициент трения
- Б) сила трения

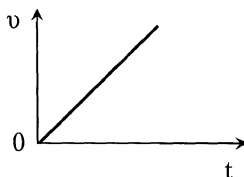
ФОРМУЛА

- 1) $\sin\alpha$
- 2) $\operatorname{tg}\alpha$
- 3) $mg \cdot \sin\alpha$
- 4) $mg \cdot \operatorname{tg}\alpha$

Ответ:

А	Б

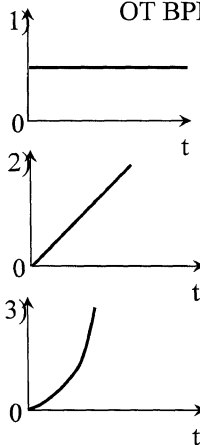
24. На рисунке справа приведен график зависимости модуля скорости тела от времени. Установите соответствие между данным графиком и графиками зависимости модуля равнодействующей силы, ускорения и пути от времени



ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) модуль равнодействующей всех сил
- Б) ускорение
- В) путь

ГРАФИКИ ЗАВИСИМОСТИ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН ОТ ВРЕМЕНИ



Ответ:

А	Б	В

25. Лифт поднимается равнозамедленно вверх с ускорением $a < g$. Как при этом изменяются ускорение лифта, масса человека и его вес?

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

Ответ:

Ускорение лифта	Масса человека	Вес человека

26. Самолет, летящий со скоростью v , делает мертвую петлю. Как изменяется вес летчика в верхней точке мертвой петли и нижней точке:

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

Ответ:

Вес летчика в верхней точке	Вес летчика в нижней точке

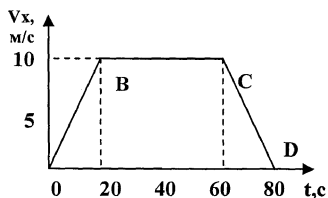
§ 10. Задания для самостоятельной работы с развернутым ответом

1. На каком минимальном расстоянии от перекрестка должен начать тормозить при красном свете светофора автомобиль, движущийся со скоростью 30 м/с, если коэффициент трения между шинами и асфальтом 0,6

2. Мяч массой 200г, брошенный с высоты 10м вертикально вниз, достиг земли через 2 с. Сила сопротивления воздуха 1,2Н. Определите скорость мяча в момент броска.

3. Ракета на старте с поверхности Земли движется вертикально вверх с ускорением 20 м/с^2 . Каков вес космонавта массой 80 кг?

4. По заданному графику определите характер движения тела на участках OB, BC и CD. Найдите величину результирующей силы, действующей на каждой из этих участков, если масса тела 2 кг. Какой путь пройдет тело за время движения?



5. Автомобиль движется по окружности радиусом 50м. Какое максимальное число оборотов может совершить автомобиль за 314с движения, если коэффициент трения скольжения между колесами и дорогой 0,2?

6. Один конец нити длиной 70 см соединен с вершиной конуса, а к другому привязан брусок по окружности по поверхности конуса, что бы не оказывать на нее давления?

7. Найдите радиус кривизны окружности, который может описать мотоциклист, если он движется со скоростью 30м/с, а предельный угол наклона мотоциклиста к земле равен 60° .

8. Самолет, летящий со скоростью 40м/с, делает «мертвую петлю». Каков должен быть ее радиус, что бы в ее верхней точке летчик не оказывал давление сиденье?

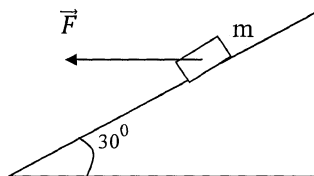
9. Тело массой 1кг упало с высоты 200м за 7с. Определить среднюю силу сопротивления воздуха.

10. Брусок после сообщения ему скорости начинает движение вверх по плоскости наклоненной под углом 30° к горизонту. Достигнув максимальной высоты брусок движется вниз. Во сколько раз время подъема бруска меньше времени его спуска? коэффициент трения бруска о плоскость 0,3.

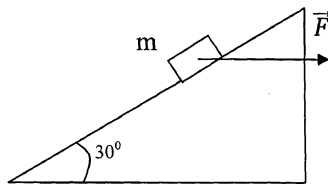
11. Через какое время тело, брошенное вертикально вверх со скоростью 48м/с, упадет на землю, если сила сопротивления воздуха составляет 60% от силы тяжести?

12. Если к грузу массой 2 кг, лежащему на горизонтальной поверхности, приложить силу под углом 30° к горизонту, то груз будет двигаться равномерно. С каким ускорением будет двигаться груз, если эту силу приложить горизонтально? коэффициент трения 0,1.

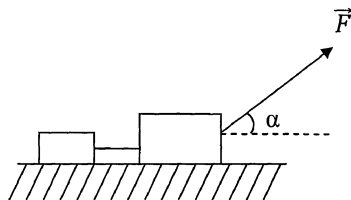
13. На брусок массой 340 г, лежащий на наклонной плоскости, действует горизонтально направленная сила F . При каком наибольшем значении F (вектор) брусок будет неподвижен? Угол наклона плоскости к горизонту 30° , коэффициент трения бруска о плоскость 1,7.



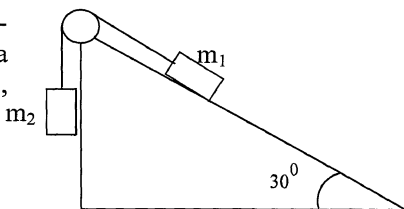
14. Тело массой 1 кг поднимается по наклонной плоскости с ускорением $0,1 \text{ м/с}^2$. Какую горизонтальную поверхность Земли, силу нужно приложить для подъема тела, если коэффициент трения 0,2, а угол наклона плоскости к горизонту 30° ?



15. Два бруска масса $m_1=1 \text{ кг}$ и $m_2=2\text{кг}$ находятся на горизонтальной плоскости. К большему по массе бруску приложена сила $F=30\text{Н}$ под углом $\alpha=30^\circ$ к горизонту. Коэффициент трения брусков о поверхность (μ)=0.1. Найдите ускорение тел и силу натяжения нити между брусками.



16. С каким ускорением и в каком направлении движется система грузов, если $m_1=4\text{кг}$ а $(\mu)= 0,2$, $m_2=3\text{кг}$?

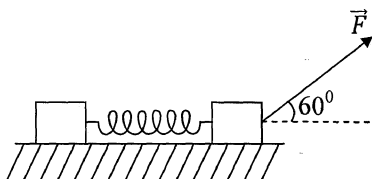


17. Две гири массами 3 кг и 7 кг висят на концах нити, перекинутой через неподвижный блок. Легкая гиря находится на 2 м ниже тяжелой. Гири пришли в движение без начальной скорости. Через какое время они окажутся на одной высоте?

18. Через невесомый блок перекинута легкая нить, к концам которой привязаны два груза общей массой 0,5кг. Найти массу каждого груза, если при перемещении на 1 м из состояния покоя грузы приобретают скорость 2 м/с.

19. к концам нити, перекинутой через неподвижный блок, который закреплен на краю стола, прикреплены два равноускоренных движущихся тела: тело массой 2 кг подвешено к вертикальной части нити, тело массой 8кг движется по поверхности стола с коэффициентом трения 0,1. Найдите ускорение с которым движутся тела, и силу натяжения нити. Массой блока и трением в нем пренебречь.

20. На горизонтальной поверхности лежат два бруска, соединенные пружиной жесткостью 500Н/м. На один из брусков начинает действовать сила 15 Н, направленная под углом 60° к поверхности. Найти отношение масс брусков, если при их установившемся движении по горизонтальной поверхности пружина растянута на 2 см. Коэффициент трения брусков о поверхность одинаков и равен $1/\sqrt{3}$



21. Искусственный спутник вращается по круговой орбите на высоте 1260км от поверхности Меркурия. Определите скорость движения спутника по орбите, если известно, что радиус Меркурия равен 2440км, а ускорение свободного падения на его поверхности $3,7 \text{ м/с}^2$

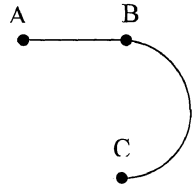
22. Груз массой 3кг висит на шнуре длиной 10м. На какую наибольшую высоту можно отвести в сторону груз, что бы при дальнейших свободных качаниях шнур не оборвался? Максимальная сила натяжения, которую выдерживает шнур не обрываясь, равна 60 Н

23. В аттракционе человек массой 100кг движется на тележке по рельсам и совершает «мертвую петлю» в вертикальной плоскости. Когда

вектор скорости был направлен вертикально вниз, сила нормального давления человека на сидение была 2000Н . Найдите скорость тележки в этой точке при радиусе круговой траектории 5 м .

24. Средняя плотность планеты Плюк равна средней плотности Земли, а первая космическая скорость для Плюка в 2 раза больше, чем для Земли. Чему равно отношение периода обращения спутника, движущегося вокруг Плюка по низкой круговой орбите, к периоду обращения аналогичного спутника Земли? Объем шара пропорционален кубу радиуса.

25. Стартуя из точки А (см. рисунок), спортсмен движется равноускоренно до точки В, после которой модуль скорости спортсмена остается постоянным вплоть до точки С. Во сколько раз время, затраченное спортсменом на участок ВС, больше, чем на участок АВ, если модуль ускорения на обоих участках одинаков? Траектория ВС - полуокружность.



ГЛАВА III

ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ

§ 1. Импульс тела. Импульс силы

Импульсом тела \vec{p} , называется векторная величина, равная произведению массы тела на его скорость:

$$\boxed{\vec{p} = m\vec{v}} \quad (1)$$

$$(1) \Rightarrow \vec{p} \uparrow\uparrow \vec{v}. \quad \text{СИ } [P] = 1 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}.$$

Импульсом силы $\vec{F} \cdot \Delta t$ называется векторная величина, равная произведению силы на время ее действия.

$$\text{СИ } [F \cdot \Delta t] = 1 \text{ Н} \cdot \text{с}.$$

Найдем связь между импульсом силы и импульсом тела. Пусть материальная точка в момент времени t_1 имела скорость \vec{v}_1 , а в момент времени t_2 — \vec{v}_2 . Тогда согласно определению ускорение материальной точки

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t}. \quad (2)$$

По второму закону Ньютона ускорение материальной точки

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}. \quad (3)$$

Из сравнения (2) и (3) видно, что левые части данных уравнений равны, следовательно, можно приравнять правые:

$$\frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t} = \frac{\vec{F}}{m}. \quad (4)$$

Откуда

$$\boxed{\vec{F} \cdot \Delta t = m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1}. \quad (5)$$

Формула (5) представляет *второй закон Ньютона через изменение импульса материальной точки: импульс силы, действующей на материальную точку, равен изменению импульса материальной точки.*

§ 2. Закон сохранения импульса

Группа тел, связанных силами взаимодействия, называется системой тел. Силы с которыми взаимодействуют тела системы, называются внутренними. Силы, действующие на систему, со стороны тел, не входящих в систему, называют внешними.

Замкнутая система – это система, на которую не действуют внешние силы. Для такой системы выполняется **закон сохранения импульса**: геометрическая (векторная) сумма импульсов замкнутой системы тел до взаимодействия равна геометрической (векторной) сумме импульсов этих же тел после взаимодействия. Если взаимодействуют n тел, то математическая запись данного закона выглядит следующим образом:

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 + \dots + m_n\vec{v}_n = m_1\vec{U}_1 + m_2\vec{U}_2 + \dots + m_n\vec{U}_n,$$

где $m_1\vec{v}_1$ – импульс первого тела до взаимодействия; $m_1\vec{U}_1$ – импульс первого тела после взаимодействия и т.д.

Векторную сумму импульсов системы тел называют так же полным импульсом \vec{p} системы:

$$\vec{p}_1 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 + \dots + m_n\vec{v}_n$$

или

$$\vec{p}_2 = m_1\vec{U}_1 + m_2\vec{U}_2 + \dots + m_n\vec{U}_n.$$

Поэтому закон сохранения импульса можно сформулировать по-другому: полный импульс замкнутой системы тел остается величиной постоянной при любых взаимодействиях между телами системы:

$$\vec{p} = \text{const}$$

или

$$\vec{p}_1 = \vec{p}_2 .$$

Здесь \vec{p}_1 – полный импульс системы до взаимодействия; \vec{p}_2 – после взаимодействия.

Реальных замкнутых систем нет. Однако, если система незамкнутая, то закон сохранения импульса выполняется в двух случаях: 1) равнодейст-

вующая внешних сил равна нулю ($\vec{F} = 0$). В этом случае незамкнутая система ведет себя как замкнутая. 2) Импульс внешней силы мал и им можно пренебречь ($\vec{F} \cdot \Delta t = 0$). Действительно, импульс внешней силы, действующей на систему, равен изменению импульса системы

$$\vec{F} \cdot \Delta t = \vec{p}_2 - \vec{p}_1.$$

Так как $\vec{F} \cdot \Delta t = 0$, то $\vec{p}_2 - \vec{p}_1 = 0$.

Откуда

$$\vec{p}_1 = \vec{p}_2.$$

Второй случай наблюдается, когда процесс мгновенный ($\vec{F} = \text{const}$, $\Delta t \rightarrow 0$), например, удар или взрыв.

При решении задач возможны случаи, когда равнодействующая внешних сил не равна нулю ($\vec{F} \neq 0$), но ее проекция не какое либо направление, например ось X,

ра на нулю ($F_x = 0$). В этом случае в данном направлении остается постоянной сумма проекций импульсов тел системы

$$m_1 v_{1x} + m_2 v_{2x} + \dots + m_n v_{nx} = m_1 U_{1x} + m_2 U_{2x} + \dots + m_n U_{nx}$$

или

$$p_{1x} = p_{2x}.$$

§ 3. Работа. Мощность

Пусть тело движется по горизонтальной поверхности под действием силы \vec{F} (рис. 1). Здесь \vec{v} – скорость тела.

Работой силы \vec{F} называется скалярная величина, равная произведению модуля вектора силы на модуль вектора перемещения и на косинус угла между этими векторами

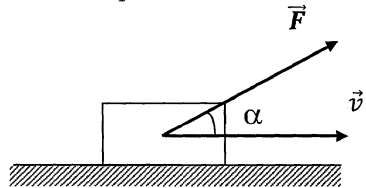


Рис.1

$$A = FS \cos \alpha.$$

(6)

Формула (6) справедлива только в том случае, когда сила остается постоянной по модулю и направлению, а траектория тела представляет собой прямую линию.

СИ $[A] = 1 \text{ Дж (джоуль)}$.

Мощностью N называется скалярная величина, равная работе, совершенной за единицу времени. Если за время t сила совершила работу A , то средняя мощность

$$N_{\text{cp}} = \frac{A}{t} . \quad (7)$$

СИ $[N] = 1 \text{ Вт (ватт)}$.

Подставив формулу (6) в уравнение (7), получим

$$N_{\text{cp}} = \frac{FS \cos \alpha}{t} \quad (8)$$

Так как средняя скорость определяется выражением

$$v_{\text{cp}} = \frac{S}{t},$$

то (8) примет вид

$$N_{\text{cp}} = Fv_{\text{cp}} \cos \alpha . \quad (9)$$

При $t \rightarrow 0$ в уравнении (8) дробь S/t представляет мгновенную скорость $v_{\text{мгн}}$.

Тогда и мощность, определяемая формулой (8), будет мгновенной, то есть мощностью в данный момент времени:

$$N_{\text{мгн}} = Fv_{\text{мгн}} \cos \alpha \quad (10)$$

где $\alpha = \vec{F}, \vec{v}$.

Таким образом, для определения средней мощности мы знаем две формулы – (7) и (9), а для определения мгновенной мощности – только одну (10).

§ 4. Энергия. Закон сохранения энергии в механике

В механике различают два вида энергии: кинетическую E_k и потенциальную E_p . Сумма кинетической и потенциальной энергий называется полной механической энергией E :

$$E = E_k + E_p.$$

Кинетическая энергия – это энергия, которой обладает тело вследствие своего движения. Формула кинетической энергии:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}.$$

Здесь m – масса тела, v – его скорость.

СИ $[E_k] = 1 \text{ Дж}$.

Кинетическая энергия – мера механического движения тела, величина скалярная. Значения ее зависят от выбора системы отсчета, но не могут быть отрицательными.

Теорема об изменении кинетической энергии: приращение кинетической энергии тела (системы тел) равно алгебраической сумме работ всех сил, действующих на тело (на систему тел). Математическая запись данной теоремы будет выглядеть:

$$\Delta E_k = A_1 + A_2 + \dots + A_n.$$

Здесь A_1, A_2, \dots, A_n – работа сил $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$; ΔE_k – приращение (изменение) кинетической энергии:

$$\Delta E_k = E_{k2} - E_{k1},$$

где E_{k1} – кинетическая энергия тела (системы тел) в начальном состоянии; E_{k2} – в конечном состоянии.

Энергия, которой обладает тело вследствие взаимодействия с другими телами, называют потенциальной энергией E_p . E_p – это мера возможного механического движения тела, величина скалярная, может принимать положительные, отрицательные значения и быть равной нулю. Когда говорят о потенциальной энергии одного тела, всегда имеют в виду другие тела, с которыми рассматриваемое находится во взаимодействии.

Значение потенциальной энергии тела зависит от выбора начала отсчета, то есть от того, что мы примем за нуль потенциальной энергии. Рассмотрим тело массой m , поднятое на высоту H , пренебрежимо малую по сравнению с радиусом Земли ($H \ll R_3$), на поверхности Земли и на глубине h ($h \ll R_3$). Все три случая представлены на рис. 2.

Если за нуль принять потенциальную энергию материальной точки на поверхности Земли ($E_{p2} = 0$), то потенциальная энергия материальной точки в поле силы тяжести Земли в положении 1

$$E_{p1} = mgH,$$

а в положении 3

$$E_{p3} = - mgh.$$

Однако при решении задач за нулевой уровень потенциальной энергии удобно выбирать самый нижний уровень. Тогда для рассматриваемого случая (рис. 2) значения потенциальной энергии будут выглядеть так:

$$E_{p1} = mg(H + h),$$

$$E_{p2} = mgh,$$

$$E_{p3} = 0.$$

если

Рассмотрим упруго деформированное тело на примере пружины (рис. 3). Левый

конец пружины закреплен, а к правому – прикреплено какое-то тело.

Конец недеформированной пружины совместим с началом оси X . Растянем пружину на величину x . Тогда деформированная пружина будет обладать потенциальной энергией

$$E_p = \frac{kx^2}{2},$$

если $E_p = 0$ при $x = 0$. Таким образом, если полагать, что недеформированная пружина не обладает потенциальной энергией ($E_{p1} = 0$), то упруго деформированная пружина с величиной деформации x имеет потенциальную энергию

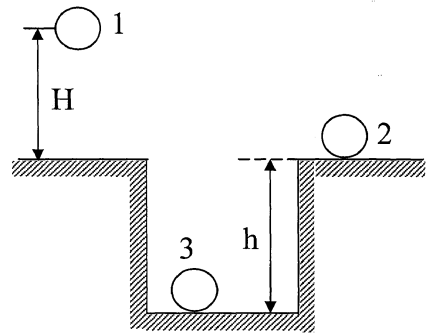


Рис.2

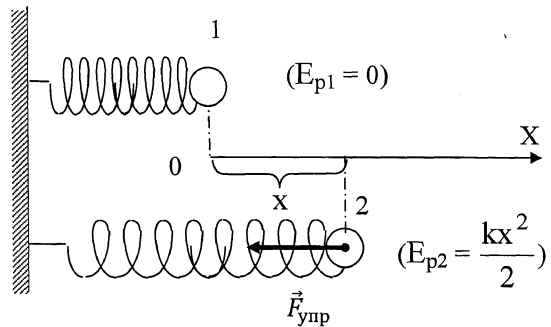


Рис.3

$$E_{p2} = \frac{kx^2}{2},$$

где k – коэффициент упругости.

Потенциальная энергия гравитационного взаимодействия двух материальных точек с массами m_1 и m_2 , находящихся на расстоянии r одна от другой, имеет вид

$$E_p = -G \frac{m_1 m_2}{r},$$

если $E_p = 0$ при $r \rightarrow \infty$. Здесь G – гравитационная постоянная.

Если тело массой m находится на высоте h над поверхностью Земли, то последняя формула примет вид

$$E_p = -G \frac{mM_3}{R_3 + h}.$$

Данное уравнение можно использовать и для любой другой планеты, подставив вместо массы M_3 и радиуса R_3 Земли массу M_{Π} и радиус R_{Π} планеты.

Силы, работа которых не зависит от формы и длины траектории, а определяется только начальным и конечным положениями материальной точки, называются консервативными (к.с.). Пусть материальная точка переместилась из положения 1 в положение 2 один раз по пути а, а другой – по пути б (рис. 4). Если работа была совершена консервативной силой, то она будет в обоих случаях одинаковой:

$$A_{1a2}^{\text{к.с.}} = A_{1б2}^{\text{к.с.}}. \quad (11)$$

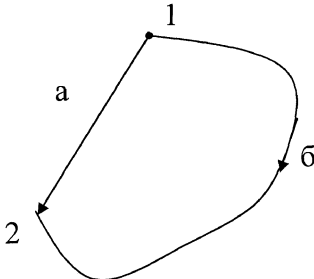


Рис. 4

К консервативным силам относятся сила тяжести $m\vec{g}$, сила упругости $\vec{F}_{\text{упр}}$, сила всемирного тяготения $\vec{F}_{\text{тяг}}$. Здесь приведены не все консервативные силы, а только встречающиеся нам в механике. Так как любая из данных сил, совершая в одном направлении положительную работу

($\alpha < 90^\circ \Rightarrow \cos\alpha > 0$), при изменении направления движения на противоположное совершает отрицательную работу ($\alpha > 90^\circ \Rightarrow \cos\alpha < 0$), то

$$A_{1a2}^{\text{к.с.}} = -A_{2a1}^{\text{к.с.}} . \quad (12)$$

Здесь угол α взят из формулы

$$A = FS\cos\alpha .$$

Подставляя (12) в формулу (11), получаем

$$-A_{2a1}^{\text{к.с.}} = A_{162}^{\text{к.с.}} \Rightarrow A_{162}^{\text{к.с.}} + A_{2a1}^{\text{к.с.}} = 0 . \quad (13)$$

Видно (13), что **работа консервативных сил на замкнутом пути равна нулю.**

Работа консервативных сил совершается за счет запаса потенциальной энергии, то есть она равна уменьшению потенциальной энергии:

$$\boxed{A_{\text{к.с.}} = E_{p1} - E_{p2}} . \quad (14)$$

С другой стороны, если система консервативная, то согласно теореме об изменении кинетической энергии

$$A_{\text{к.с.}} = E_{k2} - E_{k1} = \Delta E_{\text{к}} . \quad (15)$$

Сравнивая (14) и (15), получаем

$$E_{p1} - E_{p2} = E_{k2} - E_{k1} ,$$

$$\boxed{E_{p1} + E_{k1} = E_{p2} + E_{k2}} . \quad (16)$$

Формула (16) представляет собой математическую запись закона сохранения энергии в механике: **полная механическая энергия консервативной системы, то есть системы, в которой действуют только консервативные силы, остается величиной постоянной.**

Из сравнения (14) и (15) видно, что

$$\Delta E_{\text{к}} = -\Delta E_{\text{п}} ,$$

то есть кинетическая и потенциальная энергии в результате взаимодействия и движения тел изменяются так, что увеличение одной из них равно уменьшению другой. На сколько одна из них возрастает, на столько другая уменьшается. При этом полная механическая энергия не изменяется:

$$\Delta E = 0, \quad \text{т.к.} \quad E = \text{const.}$$

Если в рассматриваемой системе действуют неконсервативные силы (н.с.), то полная механическая энергия системы изменяется на величину ΔE , равную работе неконсервативных сил (н.с.):

$$\boxed{A_{\text{н.с.}} = \Delta E} \quad (17)$$

Формула (17) представляет *теорему об изменении полной механической энергии*. К неконсервативным силам относятся: сила трения скольжения $\vec{F}_{\text{тр}}$, сила неупругой деформации $\vec{F}_{\text{деф}}$, сила тяги $\vec{F}_{\text{т}}$, сила сопротивления воздуха $\vec{F}_{\text{с}}$, сила сопротивления почвы $\vec{F}_{\text{с}}$ мускульная сила.

§ 5. Столкновение двух тел

Выделим два вида столкновения: абсолютно упругий удар и абсолютно неупругий. Рассмотрим названные удары на примере центрального удара шаров. Удар называется центральным, если шары до удара движутся вдоль прямой, проходящей через их центры.

1. Абсолютно упругий удар

Пусть два шара массами m_1 и m_2 движутся поступательно со скоростями \vec{v}_1 и \vec{v}_2 (рис. 5). После удара скорости шаров \vec{u}_1 и \vec{u}_2 .

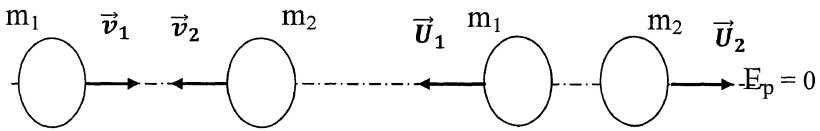


Рис. 5

При таком ударе в механике выполняются два закона сохранения: закон сохранения импульса

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2$$

и закон сохранения полной механической энергии

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 U_1^2}{2} + \frac{m_2 U_2^2}{2}.$$

За нулевой уровень потенциальной энергии принят уровень, на котором находятся центры шаров.

2. Абсолютно неупругий удар

При таком ударе два шара сливаются и движутся как единое целое в ту сторону, в которую двигался шар, обладающий большим импульсом (рис. 6).

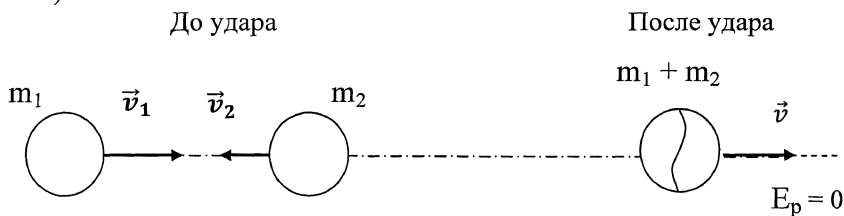


Рис. 6

В данном случае в механике выполняется только закон сохранения импульса:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{v}.$$

Часть механической энергии превращается во внутреннюю. Внутренняя энергия шаров возрастает на величину ΔU :

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2) v^2}{2} + \Delta U. \quad (18)$$

Здесь (18) выполняется всеобщий закон сохранения и превращения энергии: полная энергия системы не исчезает и не возникает, она лишь переходит из одной формы в другую.

Приращение внутренней энергии шаров ΔU равно количеству выделившейся теплоты Q . Поэтому уравнению (18) можно придать вид

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2) v^2}{2} + Q.$$

Если неупругий удар используется для каких-нибудь технологических целей, например, ковка изделий, то можно оценить КПД процесса удара как отношение полезно использованной энергии $E_{\text{пол}}$ к полной энергии E соударяющихся тел до удара:

$$\eta = \frac{E_{\text{пол}}}{E}.$$

Здесь

$$E_{\text{пол}} = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} - \frac{(m_1 + m_2) v^2}{2};$$

$$E = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2}.$$

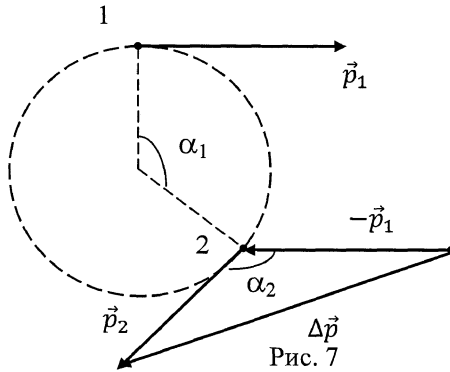
Реальный удар может занимать промежуточное положение между абсолютно упругим и абсолютно неупругим: шары не сливаются в единое целое, каждый шар движется со своей скоростью. Однако закон сохранения полной механической энергии не выполняется: часть механической энергии в процессе столкновения переходит во внутреннюю.

§ 6. Примеры решения задач

Задача 1

Частица массой 1 г равномерно движется по окружности со скоростью 10 м/с. Определить изменение импульса частицы, если она прошла третью часть окружности.

Дано:	СИ	Так как материальная точка прошла третью часть окружности, то радиус, проведенный к материальной точке, повернулся на угол $\alpha_1 = 120^\circ$ (рис. 7). Изменение импульса частицы найдем по формуле
$m = 1 \text{ г}$	$1 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$	
$v_1 = v_2 = 10 \text{ м/с}$		
$\alpha_1 = 120^\circ$		
$\Delta \vec{p}$		$\Delta \vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$



Вычитание векторов заменим их сложением по правилу треугольника

$$\Delta \vec{p} = \vec{p}_2 + (-\vec{p}_1).$$

Углы α_1 и α_2 равны, так как они образованы взаимно перпендикулярными сторонами ($\alpha_2 = \alpha_1 = 120^\circ$).

Тогда модуль изменения вектора импульса частицы можно определить по теореме косинусов

$$|\Delta \vec{p}|^2 = p_1^2 + p_2^2 - 2p_1 p_2 \cos \alpha_2.$$

Учитывая, что $p_1 = p_2 = m v_1 = 10^{-2} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$, а $\cos 120^\circ = -\frac{1}{2}$, получаем

$$|\Delta \vec{p}| = \sqrt{2p_1^2 + p_1^2} = p_1 \sqrt{3} = 1,73 \cdot 10^{-2} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}.$$

Ответ: модуль изменения вектора импульса частицы $|\Delta \vec{p}| = 1,73 \cdot 10^{-2} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$.

Задача 2

Молекула массой $4,65 \cdot 10^{-26}$ кг, летящая со скоростью 600 м/с, ударяется о стенку сосуда под углом 60° к нормали и под таким же углом упруго

отскакивает от нее. Чему равен импульс силы, действующей на молекулу? Какой импульс силы получит стенка?

Дано:

$$m = 4,65 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$$

$$\alpha = 60^\circ$$

$$v_1 = 600 \text{ м/с}$$

$$\vec{F}_M \Delta t; \vec{F}_c \Delta t$$

По второму закону Ньютона импульс силы, действующей на молекулу, равен изменению импульса молекулы

$$\vec{F}_M \Delta t = m_2 \vec{v}_2 - m_1 \vec{v}_1, \quad (19)$$

где $m\vec{v}_1$ – импульс молекулы до удара; $m\vec{v}_2$ – импульс молекулы после удара.

Так как удар упругий, то $v_1 = v_2$ и, следовательно, $mv_1 = mv_2$.

Изобразим все три вектора в уравнении (19) на рис. 8. Сначала найдем изменение импульса $\Delta \vec{p} = m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1$ как результат сложения векторов $m\vec{v}_2$ и $(-m\vec{v}_1)$

по правилу треугольника. Импульс силы $\vec{F}_M \Delta t$ равен изменению импульса молекулы $\Delta \vec{p}$ ($\vec{F}_M \Delta t = \Delta \vec{p}$), но импульс силы $\vec{F}_M \Delta t$, действующей на молекулу, имеет точку приложения – молекулу.

Спроецируем векторные величины в уравнении (19) на ось X:

$$F_M \Delta t = mv_2 \cos \alpha - (-mv_1 \cos \alpha) = mv_2 \cos \alpha + mv_1 \cos \alpha = 2mv_1 \cos \alpha.$$

Подставляя числовые значения, находим

$$F_M \Delta t = 2 \cdot 4,65 \cdot 10^{-26} \cdot 600 \cdot \frac{1}{2} = 2,79 \cdot 10^{-23} \text{ Н}\cdot\text{с}.$$

Согласно третьему закону Ньютона молекула и стенка взаимодействуют с силами, равными по модулю и противоположными по направлению

$$\vec{F}_M = -\vec{F}_c.$$

Умножив данное уравнение на время взаимодействия Δt , получим

$$\vec{F}_M \Delta t = -\vec{F}_c \Delta t. \quad (20)$$

Видно (20), что импульс силы, действующей на стенку, численно равен и противоположен по направлению импульсу силы, действующей на молекулу

$$F_c \Delta t = 2,79 \cdot 10^{-23} \text{ Н}\cdot\text{с.}$$

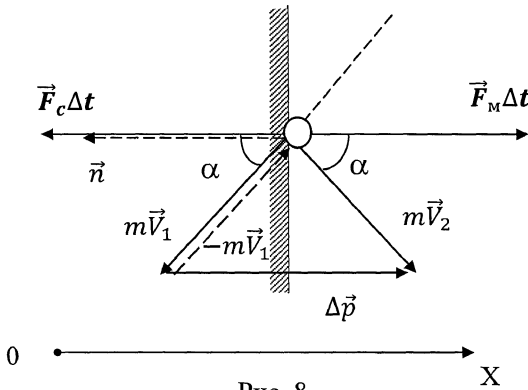


Рис. 8

Вектор $\vec{F}_c \Delta t$ приложен к стенке (рис. 8).

Ответ: импульс силы, действующей на молекулу $F_M \Delta t = 2,79 \cdot 10^{-23}$ Н·с. Стенка получит импульс силы $F_c \Delta t = 2,79 \cdot 10^{-23}$ Н·с.

Задача 3

В лодке массой 240 кг стоит человек массой 60 кг. Лодка плывет со скоростью 2 м/с. Человек прыгает в горизонтальном направлении со скоростью 4 м/с относительно лодки в сторону, противоположную движению лодки. Найти импульс силы, действующей по время прыжка на лодку.

Дано:

$$m_1 = 240 \text{ кг}$$

$$m_2 = 60 \text{ кг}$$

$$v_1 = 2 \text{ м/с}$$

$$v_{2 \text{ отн}} = 4 \text{ м/с}$$

$$\vec{f} \Delta t - ?$$

Система взаимодействующих тел: человек-лодка. Систему отсчета свяжем с водой, то есть за тело отсчета примем воду.

Рассмотрим систему тел до взаимодействия (до прыжка человека) и после взаимодействия (после прыжка). Данные два состояния системы изобразим на рис. 9.

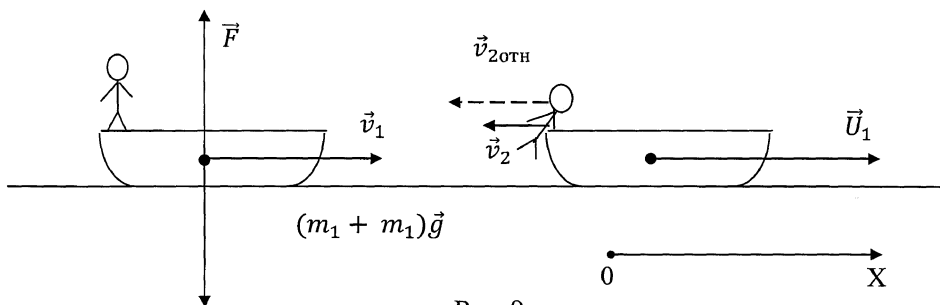


Рис. 9

В системе взаимодействующих тел во время прыжка со стороны человека на лодку действует внутренняя сила \vec{f} . Однако на тела системы действуют и внешние силы: сила тяжести $(m_1 + m_2)\vec{g}$ и выталкивающая сила воды \vec{F} . Поэтому данная система тел является незамкнутой. Если учесть, что сила \vec{F} направлена горизонтально, то легко видеть, что внешние силы скомпенсированы (равнодействующая их равна нулю). Следовательно, выполняется закон сохранения импульса:

$$(m_1 + m_2)\vec{v}_1 = m_1\vec{U}_1 + m_2\vec{v}_2. \quad (21)$$

Здесь \vec{U}_1 – скорость лодки после прыжка человека; \vec{v}_2 – скорость человека относительно воды.

Согласно закону сложения скоростей

$$\vec{v}_2 = \vec{v}_{2\text{отн}} + \vec{U}_1. \quad (22)$$

$$\left. \begin{array}{l} (21) \\ (22) \end{array} \right\} \Rightarrow (m_1 + m_2)\vec{v}_1 = m_1\vec{U}_1 + m_2(\vec{v}_{2\text{отн}} + \vec{U}_1). \quad (23)$$

Перепишем (23) в проекции на ось X и найдем модуль скорости U_1 :

$$(m_1 + m_2)v_1 = m_1U_1 - m_2v_{2\text{отн}} + m_2U_1);$$

$$U_1 = \frac{(m_1 + m_2)v_1 + m_2v_{2\text{отн}}}{(m_1 + m_2)}.$$

Подставляя числовые значения в последнее выражение, находим скорость лодки после прыжка человека

$$U_1 = \frac{(240 + 60)2 + 60 \cdot 4}{240 + 60} = 2,8 \text{ м/с.}$$

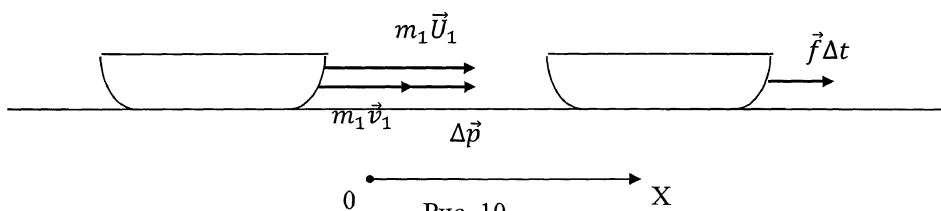


Рис. 10

Импульс силы $\vec{f}\Delta t$, действующей во время прыжка на лодку, равен изменению импульса лодки:

$$\vec{f}\Delta t = m_1 \vec{U}_1 - m_1 \vec{v}_1. \quad (24)$$

Перепишем (24) в проекции на ось X

$$f\Delta t = m_1 U_1 - m_1 v_1.$$

Подставляя числовые значения, находим

$$f\Delta t = 240 \cdot 2,8 - 240 \cdot 2 = 192 \text{ Н}\cdot\text{с}.$$

Ответ: импульс силы, действующий во время прыжка на лодку, $f\Delta t = 192 \text{ Н}\cdot\text{с}$.

Задача 4

Пушка, стоящая на горизонтальной площадке, стреляет под углом 60° к горизонту. Масса снаряда 20 кг , его начальная скорость 200 м/с . Масса пушки 500 кг . Какую скорость приобретет пушка после выстрела?

Дано:

$$m_1 = 20 \text{ кг}$$

$$v_1 = 200 \text{ м/с}$$

$$\alpha = 60^\circ$$

$$m_2 = 500 \text{ кг}$$

$$v_2 = ?$$

Рассмотрим систему взаимодействующих тел: снаряд – пушка. Систему отсчета свяжем с Землей. Изобразим на рис. 11 два состояния системы тел: до взаимодействия (до выстрела) и после взаимодействия (сразу после выстрела). На систему действуют внешние силы: сила тяжести и сила нормальной реакции опоры. До выстрела внешние силы скомпенсированы ($N_1 = (m_1 + m_2)g$).

После выстрела равнодействующая внешних сил не равна нулю. На пушку во время выстрела со стороны снаряда действует внутренняя сила \vec{f} (сила давления пороховых газов). Эту силу можно разложить на две составляющие \vec{f}_1 и \vec{f}_2 (рис. 12).

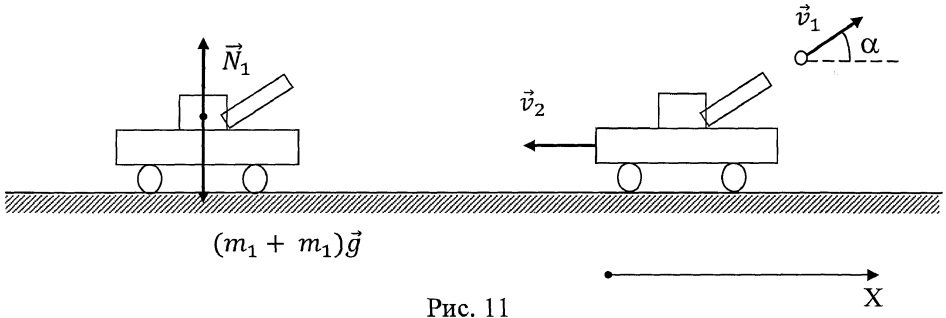


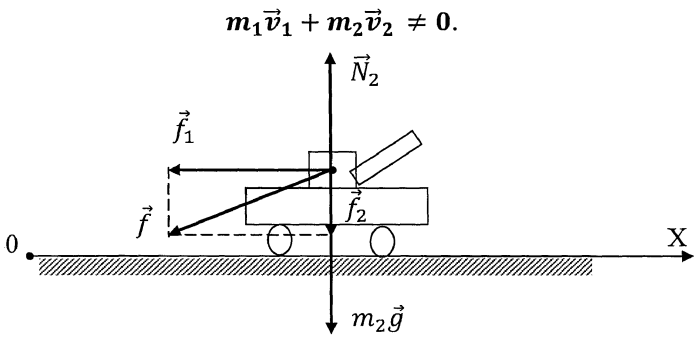
Рис. 11

Сила \vec{f}_1 изменяет скорость пушки от 0 до \vec{v}_2 . Сила \vec{f}_2 увеличивает силу давления пушки на опору. Поэтому сила нормальной реакции опоры \vec{N}_2 возрастает, и модуль ее становится равным

$$N_2 = m_2g + f_2,$$

то есть $N_2 > m_2g$, следовательно, внешние силы не скомпенсированы.

Таким образом, закон сохранения импульса не выполняется:



$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 \neq 0.$$

Рис. 12

Однако проекция равнодействующей внешних сил на ось X равна нулю. Поэтому сумма проекций импульсов системы на данную ось остается постоянной:

$$0 = m_1 v_1 \cos \alpha - m_2 v_2.$$

Откуда

$$v_2 = \frac{m_1 v_1 \cos \alpha}{m_2}.$$

Подставляя числовые значения в последнее соотношение, находим

$$v_2 = \frac{20 \cdot 200 \cdot 0,5}{500} = 4 \text{ м/с}.$$

Ответ: после выстрела пушка приобрела скорость $v_2 = 4 \text{ м/с}$.

Задача 5

Пуля массой 20 г, летящая горизонтально со скоростью 200 м/с, ударяется в брусок, подвешенный на длинном шнуре, и застревает в нем. Масса бруска 5 кг. Найти высоту подъема бруска, если перед ударом брусок двигался со скоростью 0,1 м/с навстречу пуле. Определить изменение внутренней энергии системы пуля–брусок. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Дано:

$$m_1 = 20 \text{ г} = 0,02$$

кг

$$v_1 = 200 \text{ м/с}$$

$$m_2 = 5 \text{ кг}$$

$$v_2 = 0,1 \text{ м/с}$$

$H, \Delta U$

Система взаимодействующих тел: пуля–брусок–шнур–Земля. Так как все взаимодействующие тела включены в систему, то последняя является замкнутой. Систему отсчета свяжем с Землей. Рассмотрим три состояния системы: I – перед ударом пули о брусок, II – сразу после удара пули о брусок, III – состояние, когда брусок с пулей поднимается на максимальную высоту H (рис. 13).

Скорость бруска сразу после попадания в него пули направлена вправо, так как импульс пули больше импульса бруска до удара ($m_1 v_1 > m_2 v_2$).

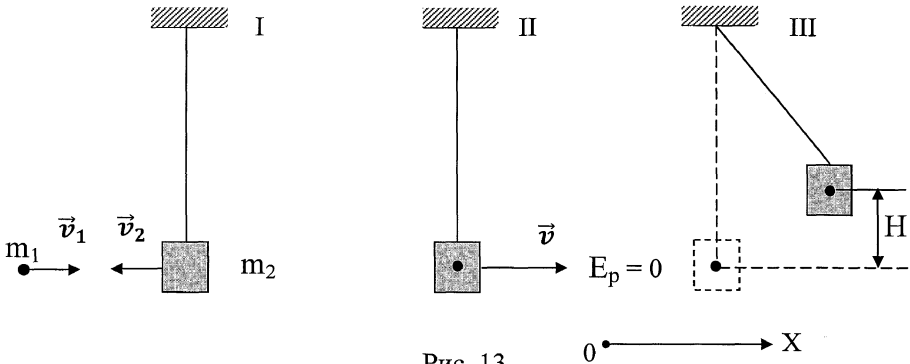


Рис. 13

Рассмотрим переход системы из состояния I в II. Так как здесь наблюдается неупругий удар, то закон сохранения полной механической энергии не выполняется. Выполняется лишь закон сохранения импульса:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{v}. \quad (25)$$

Перепишем (25) в проекции на ось X и найдем скорость v :

$$m_1 v_1 - m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v;$$

$$v = \frac{m_1 v_1 - m_2 v_2}{m_1 + m_2}. \quad (26)$$

Подставляя в (26) числовые значения и учитывая, что в знаменателе (26) m_1 представляет собой пренебрежимо малую величину, находим

$$v = \frac{0,02 \cdot 200 - 5 \cdot 0,1}{5} = 0,7 \text{ м/с.}$$

Изменение внутренней энергии системы пуля–брусок найдем по формуле

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2) v^2}{2} + \Delta U.$$

Произведем вычисления

$$\Delta U = \frac{0,02 \cdot 200^2}{2} + \frac{5 \cdot 0,1^2}{2} - \frac{5 \cdot 0,7^2}{2} = 398,8 \text{ Дж.}$$

Рассмотрим переход системы из состояния II в состояние III. Так как в системе действуют только консервативные силы: сила тяжести и сила упругой реакции нити, то выполняется закон сохранения полной механической энергии

$$E_{II} = E_{III}. \quad (27)$$

За нулевой уровень потенциальной энергии примем уровень, на котором находится брусок с пулей во II состоянии.

$$\left. \begin{aligned} E_{II} &= E_{кII} + E_{рII}, \\ E_{III} &= E_{кIII} + E_{рIII}. \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

Учитывая, что $E_{рII} = 0$ и $E_{кIII} = 0$ и подставляя (28) в уравнение (27), получаем

$$E_{кII} = E_{рIII}.$$

$$\text{Так как } E_{кII} = \frac{(m_1 + m_2)v^2}{2}, \quad \text{а } E_{рIII} = (m_1 + m_2)gH,$$

то окончательно получим

$$\frac{(m_1 + m_2)v^2}{2} = (m_1 + m_2)gH.$$

Откуда

$$H = \frac{v^2}{2g} = \frac{0,7^2}{2 \cdot 9,8} = 0,025 \text{ м.}$$

Ответ: брусок поднимется на высоту $H = 0,025$ м; изменение внутренней энергии системы пуля–брусок $\Delta U = 398,8$ Дж.

Задача 6

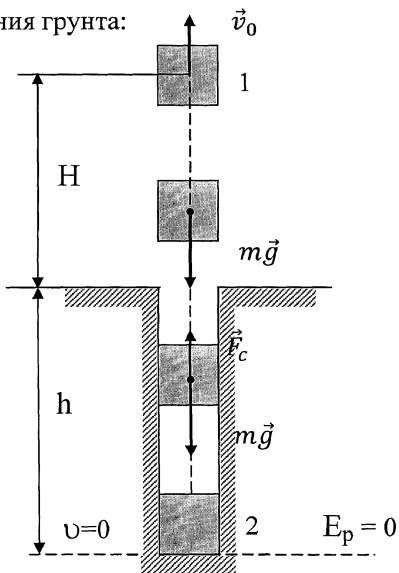
Тело массой 1 кг брошено вертикально вверх с высоты 200 м со скоростью 10 м/с. Упав на землю, оно углубилось в грунт на 0,4 м. Определить силу сопротивления грунта. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Дано
 $m = 1 \text{ кг}$
 $H = 200 \text{ м}$
 $v_0 = 10 \text{ м/с}$
 $h = 0,4 \text{ м}$

$F_c = ?$

Рассмотрим систему взаимодействующих тел: тело-Земля-грунт. Тело будем считать материальной точкой, так как оно движется поступательно. Систему отсчета свяжем с Землей. Отметим два состояния системы: 1 – тело находится на высоте H и имеет начальную скорость v_0 ; 2 – тело находится на глубине h , где его скорость равна нулю (рис. 14).

В системе действуют сила тяжести $m\vec{g}$ и сила сопротивления грунта \vec{F}_c . Сила тяжести – консервативная сила, а \vec{F}_c – неконсервативная. Поэтому закон сохранения полной механической энергии не выполняется. Изменение полной механической энергии равно работе силы сопротивления грунта:



$$\Delta E = A_c. \quad (29)$$

За нулевой уровень отсчета потенциальной энергии примем уровень, на котором находится тело во втором состоянии. Тогда

$$\begin{aligned} \Delta E &= E_2 - E_1 = E_{k2} + E_{p2} - (E_{k1} + E_{p1}) = \\ &= 0 - \left[\frac{mv_0^2}{2} + mg(H+h) \right], \\ \Delta E &= -\frac{mv_0^2}{2} - mg(H+h). \quad (30) \end{aligned}$$

Рис. 14

Работа силы сопротивления грунта

$$A_c = F_c h \cos 180^\circ = -F_c h. \quad (31)$$

Формулы (30) и (31) подставим в (29) и умножим полученное уравнение на минус один:

$$\frac{mv_0^2}{2} + mg(H + h) = F_c h.$$

Откуда сила сопротивления грунта

$$F_c = \frac{mv_0^2 + 2mg(H + h)}{2h}.$$

Подставим в последнее выражение числовые значения и произведем расчет:

$$F_c = \frac{1 \cdot 100 + 2 \cdot 1 \cdot 10(200 + 0,4)}{2 \cdot 0,4} = 5125 \text{ Н.}$$

Ответ: сила сопротивления грунта $F_c = 5125 \text{ Н.}$

§ 7. Задания для самостоятельной работы с выбором ответа

1. Тело массой m движущееся со скоростью v , ударяется о массивную стенку. Считая удар упругим и нормальным, определить изменение импульса тела.

- 1) 0; 2) mv ; 3) $2mv$; 4) $\frac{mv^2}{2}$.

2. Пластилиновый шарик массой m подлетает под углом α к нормали стены со скоростью v и прилипает к ней. Чему равен импульс силы, действующей на стенку?

- 1) 0; 2) mv ; 3) $mv \cos \alpha$; 4) $\frac{mv^2}{2} \cos \alpha$.

3. Чему равен импульс частицы массой 100 г, обладающей скоростью 20 м/с?

Ответ: _____ кг*м/с

4. Равнодействующая всех сил, действующих на все тело, равна 8Н и действует на тело в течении 2 с. Каков модуль изменения импульса тела за это время?

Ответ: _____ кг*м/с

5. Найдите величину силы, действующей на тело, если в течении 4 с его импульс изменился на 10кг*м/с

Ответ: _____ Н

6. Самосвал массой m_0 при движении на пути к карьере имеет кинетическую энергию $2,5 \cdot 10^5$ Дж. Какова его кинетическая энергия после загрузки, если он движется с прежней скоростью, а масса его увеличилась в 2 раза.

Ответ: _____ кДж

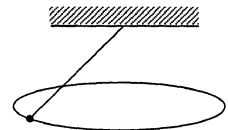
7. Шарик массой 0,5кг падает с высоты 10м с начальной скоростью 2м/с. Найдите его кинетическую энергию при падении на землю, если потеря энергии за счет сопротивления воздуха составляет 4Дж.

Ответ: _____ Дж

8. Мяч массой 1кг, подброшенный вертикально вверх с поверхности земли, достиг максимальной высоты 10м. Определите, какую скорость он имел на высоте 5 м. Сопротивление воздуха пренебречь.

Ответ: _____ м/с

9. Камень, привязанный к веревке, движется в горизонтальной плоскости по окружности радиуса 50 см (см. рисунок). Сила натяжения веревки равна 100 Н. Какова работа силы натяжения за время одного оборота камня? Сопротивлением воздуха пренебречь.



Ответ: _____ Дж

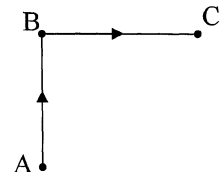
10. Рабочий втягивал по наклонной доске в кузов грузовика тяжелый ящик. Он тянул ящик вдоль доски. Длина доски 2 м. Угол между доской и горизонтальным полом 30° . Работа, совершенная рабочим, равна 2000 Дж. С какой силой рабочий тянул ящик?

Ответ: _____ Н

11. Какую работу совершает сила тяжести при равномерном перемещении в вертикальной плоскости груза массой 1 кг по пути ABC? АВ = 3 м; ВС = 4 м.

1) – 30 Дж; 2) 30 Дж;

3) – 70 Дж; 4) 70 Дж.



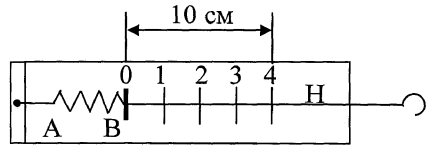
12. Какую работу совершает человек при поднятии груза массой 3 кг на высоту 2 м с ускорением 3 м/с^2 ?

Ответ: _____ Дж

13. Определите кинетическую энергию катера массой 300 кг, движущегося со скоростью 10 м/с.

Ответ: _____ Дж

14. Определите потенциальную энергию пружины АВ динамометра (см. рисунок), шкала которого проградуирована в Ньютонах, если ее растянуть на 5 см.



Ответ: _____ Дж

15. Зависимость модуля силы упругости от деформации пружины выражается формулой $F = 40x$ (в системе СИ). Потенциальную энергию этой пружины можно рассчитать по формуле

- 1) $E = 40x^2$; 2) $E = 40x$; 3) $E = 20x^2$; 4) $E = 20/x^2$.

16. Мальчик бросил мяч массой 0,1 кг вертикально вверх и поймал его в точке бросания. Мяч достиг высоты 5 м. Найти работу силы тяжести при движении мяча на всем пути.

Ответ: _____ Дж

17. Длина недеформированной пружины 20 см, жесткость 10^3 Н/м. Какую работу нужно совершить, чтобы увеличить длину пружины до 25 см?

Ответ: _____ Дж

18. Тело массой 2 кг брошено со скоростью 10 м/с под углом 60° к горизонту. Определите полную механическую энергию тела в верхней точке траектории. За нулевой уровень потенциальной энергии принять уровень, на котором находится тело в начальном положении. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: _____ Дж

19. Найдите кинетическую энергию тела массой 200 г, упавшего с высоты 3 м, в момент удара о землю. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: _____ Дж

20. С балкона бросают два одинаковых мяча со скоростями $v_{01} = v_{02}$: первый – вертикально вниз, второй – вертикально вверх. Сравните кинетические энергии $E_{к1}$ и $E_{к2}$ мячей в момент падения на землю. Сопротивлением воздуха пренебречь.

- 1) $E_{к1} = E_{к2}$; 2) $E_{к1} > E_{к2}$; 3) $E_{к1} < E_{к2}$;

4) нельзя сравнить, так как неизвестна высота балкона.

21. В системе работа сил всемирного тяготения равна 80 Дж, а работа силы трения равна -50 Дж. Чему равно изменение полной механической энергии этой системы, если в системе других сил нет?

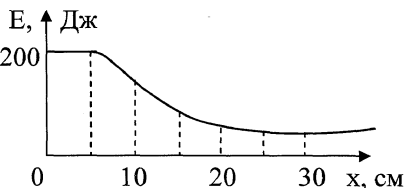
- 1) 80 Дж; 2) 30 Дж; 3) -30 Дж; 4) -50 Дж.

22. Полная механическая энергия системы, состоящей из пружины и колеблющегося на ней тела, равна 100 Дж. Какова кинетическая энергия тела при его максимальном отклонении от положения равновесия?

- 1) 200 Дж; 2) 100 Дж; 3) 50 Дж; 4) 0.

23. Отношение значений потенциальной энергии E_1/E_2 двух одинаковых пружин, из которых первая растянута в 2 раза больше второй, равно
 1) $1/4$; 2) 2; 3) $1/2$; 4) 4.

24. Шарик скатывается с горки. Его потенциальная энергия меняется в зависимости от положения шарика на горке так, как показано на рисунке. При каком значении координаты он может находиться в устойчивом положении на этой горке?



- 1) 5 см; 2) 10 см; 3) 15 см; 4) 30 см.

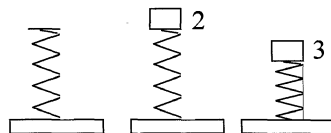
25. Шарик массой 0,1 кг, лежавший на столе высотой 0,6 м, подняли на высоту 0,8 м относительно поверхности стола. Каково изменение потенциальной энергии взаимодействия шарика с Землей?

Ответ: _____ Дж

26. На рисунке изображены положения бруска при падении его на пружину:

- 1 – начальное положение 1
 2 – точка касания пружины
 3 – точка максимального сжатия пружины

В ходе движения из точки 1 в точку 2 полная энергия бруска

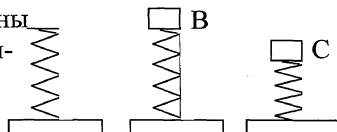


- 1) только уменьшается;
 2) только увеличивается;
 3) сначала уменьшается, затем увеличивается;
 4) не меняется.

27. На рисунке изображены положения бруска при падении его на пружину:

- A – начальное положение A
 B – точка касания пружины
 C – точка максимального сжатия пружины

Кинетическая энергия бруска при движении из точки A в точку C



- 1) увеличивается;
 2) не изменяется;
 3) уменьшается;
 4) сначала увеличивается, затем уменьшается.

§ 8. Задания для самостоятельной работы с кратким ответом

1. Пластилиновый шарик массой 10 г со скоростью 10 м/с подлетает перпендикулярно к стенке и прилипает к ней. Какой импульс силы получит стенка?

Ответ: _____ Н*с

2. Импульс тела равен 20 кг·м/с, масса тела 4 кг. Чему равна кинетическая энергия тела?

Ответ: _____ Дж

3. Тело массой 1 кг, двигаясь со скоростью 6 м/с, неупруго сталкивается с неподвижным телом массой 2 кг. Найти скорость тел после столкновения.

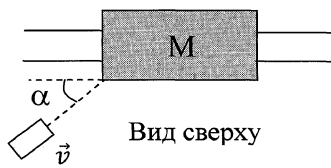
Ответ: _____ м/с

4. Тело обладает кинетической энергией 100 Дж и импульсом 40 кг·м/с. Чему равна масса тела?

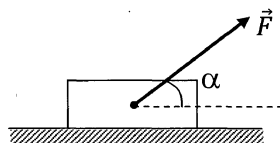
Ответ: _____ кг

5. Тело массой 1 кг брошено под углом к горизонту. Найдите изменение импульса тела через 3 с. (Ответ в единицах СИ).

6. В платформу с песком, стоящую на горизонтальных рельсах, попадает снаряд, летящий со скоростью $v = 300$ м/с горизонтально под углом $\alpha = 60^\circ$ к направлению рельсов, и застревает в ней. Определить скорость (м/с) платформы после удара, если отношение $M/m = 20$. Трением платформы о рельсы пренебречь.



7. Тело массой 20 кг движется равномерно под действием силы $F = 100$ Н. Угол $\alpha = 60^\circ$. Чему равна работа сил трения на пути 100 м?



8. Какую работу совершает сила тяжести при равномерном подъеме тела массой 10 кг на высоту 5 м?

Ответ: _____ Дж

9. Мальчик бросил мяч массой 0,1 кг вертикально вверх и поймал его в точке бросания. Мяч достиг высоты 5 м. Найдите работу силы тяжести при движении мяча на всем пути.

Ответ: _____ Дж

10. В замкнутой системе тел работа сил упругости равна 50 Дж, работа сил всемирного тяготения равна -100 Дж. Чему равно изменение кинетической энергии этой системы, если других сил в системе нет?

Ответ: _____ Дж

11. Оконную штору массы 1 кг и длины 2 м свертывают в тонкий валик над окном. Какова наименьшая совершенная при этом работа?

Ответ: _____ Дж

12. В лаборатории исследовали упругие свойства пружины и заполнили таблицу, в первой строке которой записаны значения потенциальной энергии пружины, во второй – ее удлинение при этом.

$E_{п},$ Дж	0	0,05	0,20	0,45	0,80
x, м	0	0,1	0,2	0,3	0,4

13. Чему равна потенциальная энергия пружины при удлинении ее на 0,5 м?

Ответ: _____ мДж

14. Пуля массой 20 г, летящая горизонтально, пробивает насквозь брусок массой 5 кг, лежащий на гладком горизонтальном столе. Скорость пули до столкновения равна 700 м/с, после – 200 м/с. Какую скорость приобретает брусок после того, как из него вылетает пуля?

Ответ: _____ м/с

15. На какое расстояние от положения равновесия надо отвести груз, закрепленный на пружине жесткостью 0,4 кН/м, чтобы сообщить пружинному маятнику энергию 6 Дж?

Ответ: _____ м

16. Автомобиль массой 1000 кг подъезжает со скоростью 20 м/с к подъему высотой 5 м. В конце подъема его скорость уменьшается до 6 м/с. Каково изменение механической энергии автомобиля?

Ответ: _____ кДж

17. Какова энергия упругой деформации пружины при ее сжатии на 10 см, если для ее сжатия на 2 см необходима сила 100 Н?

Ответ: _____ Дж

18. Тело массой 4 кг свободно падает с высоты 20 м. Чему равна кинетическая энергия тела в момент удара о землю?

Ответ: _____ Дж

19. Найдите потенциальную энергию тела массой 100 г, брошенного вертикально вверх со скоростью 10 м/с, в высшей точке подъема. За нулевой уровень потенциальной энергии принять уровень, на котором находится тело в момент броска.

Ответ: _____ Дж

20. Тело брошено вертикально вверх со скоростью 10 м/с. На какой высоте его кинетическая энергия будет равна потенциальной.

Ответ: _____ м

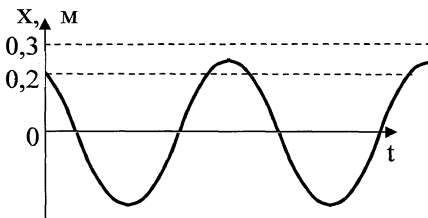
21. Камень массой 5 кг упал с некоторой высоты. Найдите кинетическую энергию в средней точке его пути, если падение продолжалось 2 с.

Ответ: _____ Дж

22. Пуля массой 10 г, летящая со скоростью 400 м/с, пробив доску толщиной 5 см, потеряла половину скорости. Найдите силу сопротивления доски.

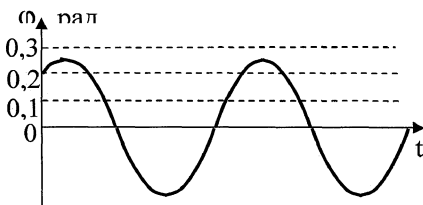
Ответ: _____ кН

23. Величина отклонения груза пружинного маятника от положения равновесия меняется с течением времени так, как показано на рисунке. Масса груза 100 г. Жесткость пружины 50 Н/м. Какова амплитуда колебаний потенциальной энергии пружины?



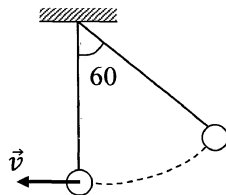
Ответ: _____ мДж

24. Угол отклонения маятника в виде груза на невесомом стержне от вертикали меняется с течением времени так, как показано на рисунке. Масса груза маятника 150 г. Длина стержня 50 см. Какова амплитуда колебаний потенциальной энергии маятника?



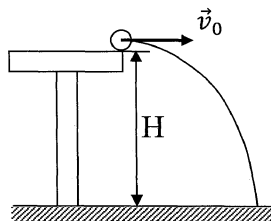
Ответ: _____ мДж

25. Груз массой $m = 0,2$ кг привязан к нити длиной $l = 1$ м. Нить с грузом отвели от вертикали на угол 60° (см. рисунок). Чему равна кинетическая энергия груза при прохождении им положения равновесия?



Ответ: _____ Дж

26. Со стола высотой $H = 0,8$ м в горизонтальном направлении толкнули шар со скоростью 2 м/с. Масса шара 1 кг. Какова его кинетическая энергия в тот момент, когда он упадет на пол? Ответ: _____ Дж



27. Тело массой 5 кг двигалось со скоростью 6 м/с при наличии трения. Коэффициент трения 0,1. Какую работу совершит сила трения за время уменьшения скорости в два раза?

Ответ: _____ Дж

28. Камень брошен вверх под углом к горизонту. Сопротивление воздуха пренебрежимо мало. Как меняются по мере потери высоты после верхней точки траектории модуль ускорения камня, его потенциальная энергия в поле тяжести и модуль вертикальной составляющей его скорости?

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

29. Запишите в табличку выбранные цифры для каждой физической величины

Модуль ускорения камня	Потенциальная энергия камня	Модуль вертикальной составляющей скорости

30. Камень брошен вверх под углом к горизонту. Сопротивление воздуха пренебрежимо мало. Как меняются с набором высоты модуль ускорения камня, его кинетическая энергия и горизонтальная составляющая его скорости?

31. Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

32. Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Модуль ускорения камня	Кинетическая энергия камня	Горизонтальная составляющая скорости камня

33. Шайба массой m съезжает без трения с горки высотой h из состояния покоя. Ускорение свободного падения равно g . Чему равны модуль импульса шайбы и ее кинетическая энергия у подножия горки?

Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать.

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

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

- А) модуль импульса шайбы
- Б) кинетическая энергия шайбы

ФОРМУЛА

- 1) $\sqrt{2gh}$
- 2) $m\sqrt{2gh}$
- 3) mgh

Ответ:

4) mg

А	Б

34. Два пластилиновых шарика массами $2m$ и m находятся на горизонтальном гладком столе. Первый из них движется ко второму со скоростью v , а второй покоится относительно стола. Укажите формулы, по которым можно рассчитать модули изменения скоростей шариков в результате их абсолютно неупругого удара. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

ФОРМУЛЫ

А) модуль изменения скорости первого шарика

1) $|\Delta \vec{v}| = v$

Б) модуль изменения скорости второго шарика

2) $|\Delta \vec{v}| = \frac{2}{3}v$

3) $|\Delta \vec{v}| = 2v$

4) $|\Delta \vec{v}| = \frac{1}{3}v$

Ответ:

А	Б

35. Брусочек скользит по наклонной плоскости вниз без трения. Что происходит при этом с его скоростью, потенциальной энергией, полной механической энергией?

1) увеличивается

2) уменьшается

3) не изменяется

Скорость	Потенциальная энергия	Полная механическая энергия

36. Груз изображенного на рисунке пружинного маятника совершает гармонические колебания между точками 1 и 3. Как меняется потенциальная энергия пружины маятника, модуль скорости груза и жесткость пружины при движении груза маятника от точки 2 к точке 3?



Для каждой величины определите соответствующий характер ее изменения:

1) увеличивается

2) уменьшается

3) не изменяется

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Потенциальная энергия пружины маятника	Модуль скорости груза	Жесткость пружины

37. Груз изображенного на рисунке пружинного маятника совершает гармонические колебания между точками 1 и 3. Как меняется кинетическая энергия груза маятника, скорость груза и жесткость пружины при движении груза маятника от точки 1 к точке 2?



Для каждой величины определите соответствующий характер ее изменения:

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется.

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Кинетическая энергия груза маятника	Скорость груза	Жесткость пружины

38. В системе работа сил всемирного тяготения равна 100 Дж, а работа силы трения равна – 50 Дж. Других сил в системе нет. Чему равны изменения кинетической энергии, потенциальной энергии и полной механической энергии? Установите соответствие между изменениями физических величин и их значениями.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) изменение кинетической энергии
- Б) изменение потенциальной энергии
- В) изменение полной механической энергии

ЧИСЛОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ

- 1) – 50 Дж
- 2) 50 Дж
- 3) 150 Дж
- 4) 100 Дж

Ответ:

А	Б	В

39. Тело массой m , движущееся перпендикулярно массивной стенке, упруго ударяется о нее. Как изменятся модули импульса тела, импульс си-

лы, действующей на тело, и импульс силы, действующей на стенку, если при тех же условиях упругий удар заменить на неупругий?

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ

А) импульс тела

1) увеличится

Б) импульс силы, действующей на тело

2) уменьшится

В) импульс силы, действующей на стенку

3) не изменится

Ответ:

А	Б	В

40. Тело массой m брошено под углом α к горизонту. Найдите изменение импульса тела через время t и импульс силы, действующей на тело, за это время. Сопротивлением воздуха пренебречь. Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ФОРМУЛА

А) изменение импульса тела

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

Б) импульс силы, действующей на тело

2) mgt

3) $2mgt$

4) $mgt \cdot \cos\alpha$

Ответ:

А	Б

§ 9. Задания для самостоятельной работы с развернутым ответом

1. Чему равен импульс силы, действующей на шарик массой 100 г, упруго ударяющийся о стенку под углом 60° к нормали? Скорость шарика перед ударом 10 м/с. Какой импульс силы получит стенка?

2. Тело массой 5 кг равномерно движется по окружности со скоростью 3 м/с. Какую часть окружности прошло тело, если импульс тела изменился на 15 кг·м/с? Покажите на рисунке все векторы.

3. Стальной шарик падает с высоты 80 см на стальную плоскость с углом наклона 45° . Считая удар упругим, найдите на каком расстоянии от первого места удара шарик ударится о плоскость второй раз.

4. Материальная точка массой 0,1 кг брошена горизонтально с высоты 50 м со скоростью 30 м/с. Чему равно изменение импульса точки за время ее полета?

5. Ракета, поднимающаяся равномерно вверх со скоростью 100 м/с, разрывается на три части. Две части по 0,5 кг каждая разлетаются горизонтально: одна на восток, другая на запад с одинаковыми по модулю скоростями. Как направлена и чему равна скорость третьей части, если масса ее 1 кг?

6. С лодки массой 90 кг, плывущей со скоростью 2 м/с, прыгает человек массой 60 кг так, что лодка останавливается. Определить скорость человека в момент прыжка, считая ее горизонтальной.

7. Первое тело массы 1 кг, имеющее скорость 4 м/с, налетело на тело массы 5 кг и отскочило от него со скоростью 3 м/с под углом 90° к первоначальному направлению. Найдите скорость второго тела после удара.

8. Пушка, стоящая на горизонтальной площадке, стреляет под углом 60° к горизонту. Масса снаряда 20 кг, его начальная скорость 200 м/с. Масса пушки 500 кг. На какое расстояние откатится пушка после выстрела, если коэффициент трения 0,2?

9. Снаряд, летевший на высоте 40 м горизонтально со скоростью 100 м/с, разрывается на две равные части. Одна часть снаряда спустя время 1 с падает на землю точно под местом взрыва. Определить скорость другой части снаряда сразу после взрыва.

10. Снаряд массой 50 кг, летящий вдоль рельсов со скоростью 600 м/с, попадает в платформу с песком массой 10 т и застревает в песке. Вектор скорости снаряда в момент попадания направлен сверху вниз под углом 30° к горизонту. Определить скорость платформы после попадания снаряда, если платформа движется навстречу снаряду со скоростью 10 м/с.

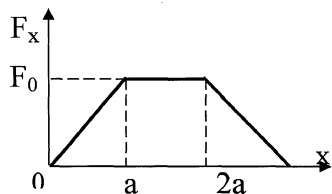
11. Запишите закон сохранения энергии в механике. В замкнутой системе тел работа сил упругости 50 Дж, а сил всемирного тяготения равна – 100 Дж. Что можно сказать об изменении кинетической, потенциальной и полной энергии этой системы, если других сил нет?

12. Автомобиль массой 1,5 т начинается разгоняться из состояния покоя с ускорением 1 м/с^2 . Коэффициент трения 0,02. Определить работу, совершаемую двигателем за первые 10 с движения, среднюю мощность за этот промежуток времени, мгновенную мощность в конце 10 с.

13. Тело массой 2 т трогается с места и движется в гору с уклоном 0,02 под действием постоянной силы. На пути 100 м тело развивает скорость 36 км/ч. Коэффициент трения 0,05. Определить среднюю мощность силы за время подъема и мощность в конце подъема.

14. Груз массой 10 кг скользит с вершины наклонной плоскости высотой 5 м и углом наклона 30° . Коэффициент трения 0,25. Определите среднюю мощность силы трения.

15. Зависимость проекции силы F_x на направление движения показана на рисунке. Найдите работу силы, если $F_0 = 100\text{Н}$, $a = 10\text{ м}$.



16. Найти работу, которую нужно совершить, чтобы увеличить скорость тела массой 1 кг от 2 м/с до 6 м/с на пути 10 м при коэффициенте трения $0,2$.

17. Груз массой 500 г упал с высоты 10 м и углубился в грунт на 10 см . Определить силу сопротивления грунта, считая ее постоянной.

18. Плиту массой 240 кг равномерно тянут вверх по наклонной плоскости, поднимая за минуту на высоту 5 м . Коэффициент трения между плитой и плоскостью $0,29$. Угол наклона плоскости 30° . Определить мощность силы тяги.

19. Брусok массой $0,2\text{ кг}$ начинает движение по горизонтальной поверхности под действием горизонтальной силы $0,6\text{ Н}$, приобретая за 4 с скорость 10 м/с . В промежутке от $t_1 = 2\text{ с}$ до $t_2 = 4\text{ с}$ определить работу силы трения, работу силы тяги и изменение кинетической энергии бруска.

20. Свободно падая с высоты 5 м , тело массой 200 г приземлилось со скоростью

8 м/с . Определить изменение кинетической энергии тела за время движения, работу силы тяжести, силу сопротивления воздуха и работу силы сопротивления воздуха.

21. Шар массой 200 г , движущийся со скоростью 10 м/с , ударяет неподвижный шар массой 500 г . Удар прямой абсолютно упругий. Каковы будут скорости шаров после удара?

22. Тело массой 2 кг соскальзывает без трения с наклонной плоскости, переходящей в желоб в форме мертвой петли. Высота плоскости 20 м , радиус петли 2 м . Определить вес тела в верхней точке петли и скорость тела в нижней точке петли.

23. Человек стоит на неподвижной тележке, находящейся на абсолютно гладкой поверхности. Масса человека с тележкой 100 кг . Определить, какую работу совершит человек в момент бросания камня массой 5 кг со скоростью 8 м/с вдоль горизонтальной поверхности.

24. Два шарика массами 100 г и 200 г подвешены на одинаковых нитях длиной 1 м . Меньшей массы шарик отклонили от положения равновесия на угол 60° и отпустили. На какую высоту поднимутся шарики после неупругого удара?

25. С ледяной горки высотой 2 м и длиной основания 5 м съезжают сани и, пройдя расстояние 35 м по горизонтальной поверхности, останавливаются. Найдите коэффициент трения между санками и льдом, считая его постоянным на всем пути.

26. Определить потенциальную и кинетическую энергию маятника длиной 2 м с шаром массой 1 кг в момент, когда нить образует с вертикалью угол 30° . Наибольший угол отклонения маятника от вертикального положения 60° . Размерами шара пренебречь.

27. Молот массой 5 кг, падая с высоты 1 м с начальной скоростью 4 м/с, ударяет по железному изделию, лежащему на наковальне. Масса наковальни вместе с изделием равна 95 кг. Считая удар абсолютно неупругим, определите энергию, расходуемую на ковку (деформацию) изделия. Чему равен коэффициент полезного действия процесса удара?

28. Камень скользит сначала вниз по наклонной плоскости с углом наклона 30° , а затем по горизонтальной поверхности. Определите коэффициент трения, если известно, что камень проходит по горизонтальной поверхности такое же расстояние, как и по наклонной плоскости.

29. Какая часть механической энергии теряется при центральном абсолютно неупругом ударе движущегося тела массой $m_1 = 3$ кг с неподвижным телом массой $m_2 = 1$ кг?

30. Детский пистолет, подвешенный на нити длиной 149 см, выстреливает в горизонтальном направлении. На какой максимальный угол от вертикали отклонится нить после выстрела? Масса пистолета 400 г, масса пули 50 г, ее скорость 16 м/с.

31. Два шара, различающиеся по массе в три раза, висят на одинаковых нитях длиной 1 м, закрепленных в одной точке. Шары отводят в стороны так, что нити оказываются горизонтальными и одновременно отпускают. На какую наибольшую высоту поднимутся шары после абсолютно неупругого столкновения?

32. Тело массой m_1 абсолютно упруго сталкивается с неподвижным телом массой m_2 . Скорость второго тела после столкновения оказалась в 1,5 раза меньше скорости первого тела до столкновения. Определите отношение масс тел m_2/m_1 .

33. Сваю массой 100 кг забивают в грунт копром, масса которого 400 кг. Копер свободно падает с высоты 5 м. При каждом ударе свая опускается на 5 см. Определить силу сопротивления грунта, считая ее постоянной.

34. Стоящий на льду человек массой 59 кг ловит мяч массой 1 кг, снижавшийся со скоростью 20 м/с под углом 30° к горизонту. Через какое время остановится человек при коэффициенте трения 0,001?

35. В тело массой 0,99 кг попадает пуля массой 0,01 кг, летевшая горизонтально со скоростью 700 м/с и, пробив насквозь, вылетает со скоростью 100 м/с. Какой путь пройдет тело до остановки при коэффициенте трения 0,2?

36. Пружина удлиняется на 5 см, если на нее подвесить груз массой 20 кг. Какую работу необходимо совершить, чтобы сжать пружину от 10 см до 5 см? Длина недеформированной пружины 12 см.

37. К сжатой пружине пренебрежимо малой массы длиной 5 см привставлены шары массой 1 и 2 кг. Какую скорость они получают при разжатии пружины, если в момент отделения шаров длина пружины равнялась 11 см. Жесткость пружины 800 Н/м.

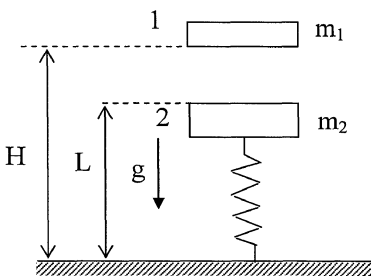
38. Пружина длиной 12 см установлена вертикально на столе. На пружину медленно помещают небольшой шарик, и ее длина становится равной 10 см. Затем шарик приподнимают на высоту 14 см над столом и отпускают. Определите наименьшее расстояние между шариком и столом при дальнейшем движении шарика.

39. Один конец лежащей на горизонтальном столе пружины прикреплен к стене, а другой соединен с бруском массой 400 г. Тело массой 100 г, движущееся по столу вдоль оси пружины, сталкивается с бруском и отскакивает в обратную сторону, уменьшив свою скорость в 2 раза. Определить количество теплоты, выделившееся при столкновении, если максимальное сжатие пружины после удара составило 6 см. Коэффициент жесткости пружины 10 Н/м.

40. Груз массой 5 кг вращается на нити в вертикальной плоскости. Найдите, на сколько сила натяжения нити в нижней точке больше, чем в верхней.

41. Ученики запускают модель ракеты, которая вместе с зарядом имеет массу $M = 230$ г. Масса заряда равна $m = 30$ г. Можно считать, что сгорание заряда происходит мгновенно. Скорость истечения газов $v_r = 200$ м/с. Ракете удалось подняться над Землей лишь на высоту $h = 20$ м. Рассчитайте количество теплоты, выделившееся в результате трения ракеты о воздух.

42. На вертикально расположенный пружинный маятник с высоты $H = 20$ см падает шайба массой $m_1 = 100$ г. Масса платформы маятника $m_2 = 200$ г, длина пружины $L = 11$ см. После соударения платформа с шайбой колеблется как единое целое. Рассчитайте энергию, которая перешла во внутреннюю при этом соударении.



43. По гладкой горизонтальной поверхности со скоростью $v_1 = 1$ м/с скользит шайба массой $m_1 = 90$ г и налетает на неподвижную шайбу с массой $m_2 = 100$ г. Рассчитайте энергию, которая перешла во внутреннюю при этом ударе, если после него первая шайба остановилась.

44. Пуля массой 20г, летящая горизонтально, попадает в шар массой 150 г, висящий на невесомой нити длиной 40см, и застревает в

нем. Найдите минимальную скорость пули, при которой после удара шар с пулей внутри совершит полный оборот в вертикальной плоскости.

45. Между телом массы $m_1 = 2$ кг, кинетическая энергия которого 1 Дж, и телом массы $m_2 = 0,5$ кг, находившимся первоначально в покое, произошло абсолютно упругое соударение. Определите переданную второму телу кинетическую энергию.

46. Кусок пластилина сталкивается с бруском, скользящим навстречу по горизонтальной поверхности стола, и прилипает к нему. Скорости пластилина и бруска перед ударом равны $V_n = 12$ м/с и $V_{бр} = 4$ м/с. Масса бруска в 4 раза больше массы пластилина. Коэффициент трения между бруском и столом 0,15. На какое расстояние переместятся слипшиеся брусок с пластилином к моменту, когда их скорость уменьшится на 30 %? Ответ округлите до сотых.

47. Два груза, массы которых $m_1 = 200$ г и $m_2 = 600$ г, подвешены на одинаковых нитях длиной 80 см. Первый груз отклонили на 90° и отпустили. Какую общую кинетическую энергию приобретут грузы после удара, если удар абсолютно неупругий?

48. 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. Изменением потенциальной энергии сваи пренебречь.

СТАТИКА. ГИДРОСТАТИКА

§ 1. Момент силы. Правило моментов

Пусть тело имеет неподвижную ось вращения, проходящую через точку O , и к нему приложена сила \vec{F} (рис. 1). Здесь l – плечо силы. **Плечом силы называется**

ся кратчайшее расстояние от оси вращения до линии действия силы. Другими словами, плечо силы представляет собой длину перпендикуляра, опущенного из точки, через которую проходит ось вращения, на линию действия силы.

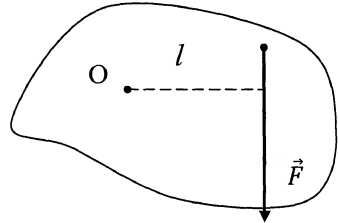


Рис.1

Моментом силы относительно оси вращения называется величина M , равная произведению модуля силы на плечо этой силы относительно данной оси:

$$M = F l \tag{1}$$

СИ $[M] = 1 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Будем считать положительными моменты сил, вращающие тело по часовой стрелке, и отрицательными – моменты сил, вращающие его против часовой стрелки.

Правило моментов: тело, имеющее неподвижную ось вращения, находится в равновесии, если алгебраическая сумма моментов всех сил, приложенных к телу, относительно этой оси равна нулю:

$$M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0.$$

Здесь n – число сил, приложенных к телу.

§ 2. Условия равновесия тела

Если тело может совершать поступательное движение и вращательное движение вокруг некоторой оси, то равновесие тела достигается при одновременном выполнении следующих двух условий:

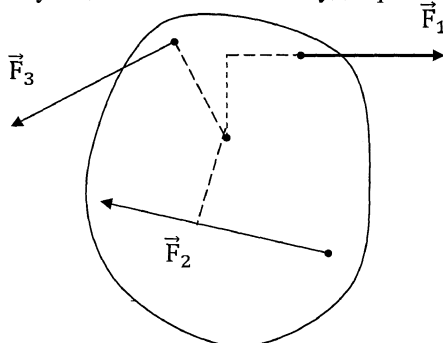
$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0, \tag{2}$$

$$M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0. \quad (3)$$

Рассмотрим данные условия (2) и (3) на следующем примере: к телу приложены три силы \vec{F}_1 , \vec{F}_2 и \vec{F}_3 (рис. 2).

Тело не будет совершать поступательного движения, если равнодействующая названных сил будет равна нулю:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = 0, \quad (4)$$



и не будет совершать вращательного движения вокруг некоторой оси, например, проходящей через точку O , если алгебраическая сумма моментов сил относительно данной оси равна нулю:

$$F_1 l_1 + F_2 l_2 - F_3 l_3 = 0 \quad (5)$$

Рис. 2

В (5) взяты со знаком “+” моменты сил F_1 и F_2 так как они вращают тело, по часовой стрелке, и со знаком “-” момент силы F_3 , так как он вращает тело против часовой стрелки.

§ 3. Виды равновесия

Различают устойчивое, неустойчивое и безразличное виды равновесия. Рассмотрим три положения маленького шарика. Шарик находится в равновесии в нижней точке сферической поверхности (рис. 3^а). Выведем шарик из положения равновесия (рис. 3^б). На шарик будет действовать результирующая сила \vec{F} , возвращающая

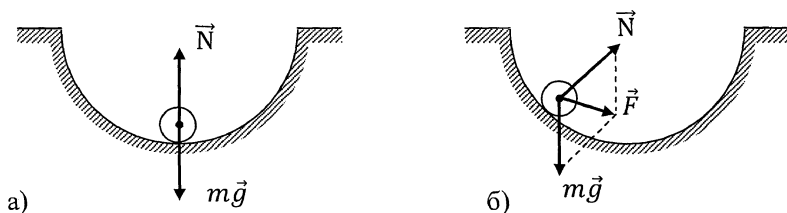


Рис. 3

шарик в первоначальное положение. Такое равновесие (рис. 3^а) называется устойчивым. **В положении устойчивого равновесия шарик обладает минимальным значением потенциальной энергии.**

Рассмотрим другой случай. Шарик находится в равновесии в верхней точке сферической поверхности (рис. 4^а). При отклонении шарика от положения равнове-

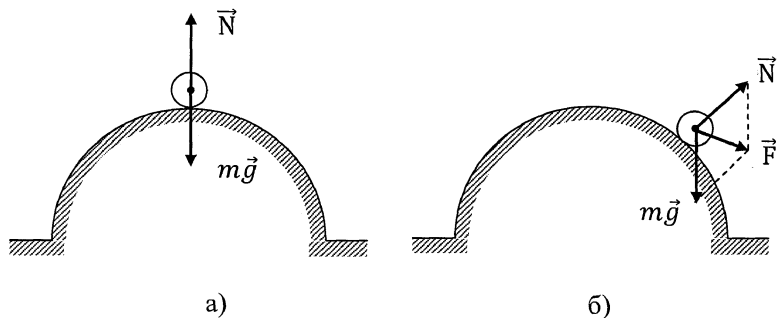


Рис. 4

сия возникает результирующая сила \vec{F} , удаляющая шарик от первоначального положения (рис. 4^б). Такое равновесие (рис. 4^а) называется неустойчивым.

Рассмотрим третий случай. Шарик находится в равновесии на горизонтальной поверхности (рис. 5^а). Результирующая сила равна нулю ($\vec{N} + m\vec{g} = 0$). Выведем шарик из положения равновесия (рис. 5^б), сместив его вправо (или влево). Такое

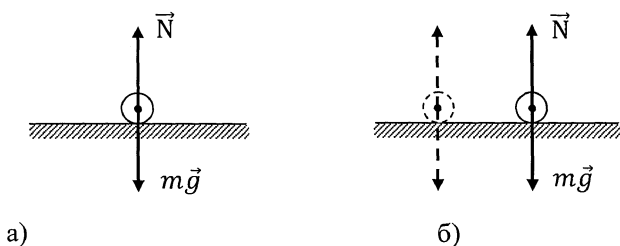


Рис. 5

смещение не приводит к появлению результирующей силы, отличной от нуля. Шарик по-прежнему находится в положении равновесия. Такое равновесие называется безразличным.

§ 4. Давление. Закон Паскаля

Давлением называется скалярная величина P , равная отношению силы F , действующей перпендикулярно поверхности, к площади S этой поверхности:

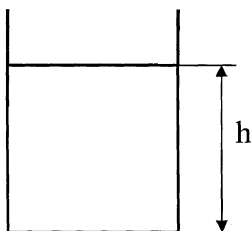
$$P = \frac{F}{S} \quad (6)$$

Единицей давления в СИ является паскаль:

$$\text{СИ } [P] = 1 \text{ Па.}$$

Закон Паскаля: жидкости и газы, заключенные в замкнутый сосуд, передают производимое на них давление по всем направлениям одинаково.

Рассмотрим давление веса жидкости на дно сосуда. Пусть в сосуд с площадью основания S налита жидкость высотой h (рис. 6). Если ρ – плотность жидкости, mg – сила тяжести жидкости, V – ее объем, то давление веса жидкости на дно сосуда



$$P = \frac{mg}{S} = \frac{\rho Vg}{S} = \frac{\rho Shg}{S} \Rightarrow P = \rho gh \quad (7)$$

Рис. 6

Формула (7) представляет гидростатическое давление столба жидкости на глубине h . Такое же давление согласно закону Паскаля жидкость оказывает и на боковые стенки сосуда на глубине h .

Полное давление в любой точке жидкости складывается из давления P_0 на ее поверхность и гидростатического давления столба жидкости, находящегося над этой точкой

$$P = P_0 + \rho gh.$$

Вес воздушной оболочки Земли создает атмосферное давление. Впервые доказал наличие атмосферного давления и измерил его Торичелли. В своем опыте он заполнил ртутью трубку в виде пробирки длиной 1 м, опустил ее отверстием вниз в чашку со ртутью, после чего открыл отверстие (рис. 7). Часть ртути вылилась, а ос-

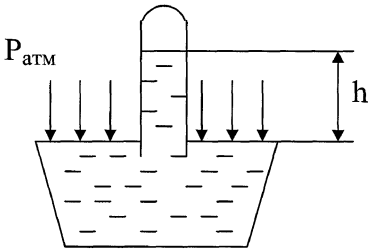


Рис. 7

тавшийся в трубке ее столбик оказался высотой $h = 760$ мм.

Свободная поверхность испытывает атмосферное давление $P_{атм}$, которое уравнивает гидростатическое давление столба ртути ρgh :

$$P_{атм} = \rho gh = 13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 0,76 \text{ м},$$

$$P_{атм} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

Это давление ($1,013 \cdot 10^5$ Па или 760 мм ртутного столба) называется нормальным атмосферным давлением.

Если в опыте Торичелли трубку снабдить шкалой, разделенной на миллиметры, то получим ртутный барометр.

§ 5. Сообщающиеся сосуды

Пусть в сообщающиеся сосуды с открытой поверхностью налита однородная жидкость (рис. 8). Эта жидкость устанавливается на одной высоте, так как на любом горизонтальном уровне давление в обоих сосудах одинаковое. Действительно, выделим уровень AA'. Давление в точках 1 и 2 одинаково и равно

$$P_1 = P_2 = P_0 + \rho gh,$$

где P_0 – внешнее давление на открытую поверхность жидкости (например, атмосферное давление).

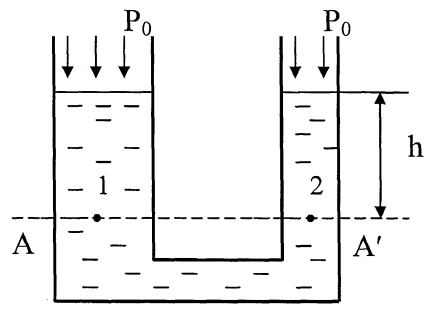


Рис. 8

Если в сообщающиеся сосуды налиты две разнородные жидкости, плотность которых ρ_1 и ρ_2 (рис. 9), то уровни их будут разными. Поясним это. Ниже горизонтального уровня AA' находится однородная жидкость, поэтому давления на этом уровне в точках 1 и 2 будут одинаковы:

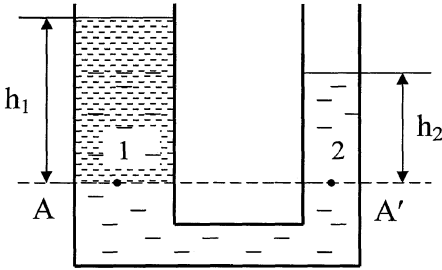


Рис.9

$$P_1 = P_2 .$$

Так как $P_1 = P_0 + \rho_1 g h_1$, а

$$P_2 = P_0 + \rho_2 g h_2, \text{ то}$$

$$P_0 + \rho_1 g h_1 = P_0 + \rho_2 g h_2 \text{ или}$$

$$\boxed{\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}} . \quad (8)$$

Формула (8) *представляет закон сообщающихся сосудов: высоты столбов разнородных жидкостей в сообщающихся сосудах обратно пропорциональны плотностям этих жидкостей.*

§ 6. Гидравлический пресс

Гидравлический пресс представляет два разного диаметра сообщающихся сосуда, снабженных поршнями площадями S_1 и S_2 (рис. 10). Под поршнями находится жидкость (минеральное масло), которую в условиях работы гидравлического

пресса будем считать невесомой и несжимаемой.

Приложим к малому поршню силу \vec{F}_1 .

В жидкости под этим поршнем создается давление P_1 . Согласно закону Паскаля это давление по всем направлениям передается одинаково, то есть давление жидкости под большим поршнем P_2 равно давлению жидкости под малым поршнем P_1 . В результате на поршень S_2 со стороны жидкости действует сила \vec{F}_2 .

Так как

$$P_1 = \frac{F_1}{S_1}, \quad P_2 = \frac{F_2}{S_2}, \quad \text{а}$$

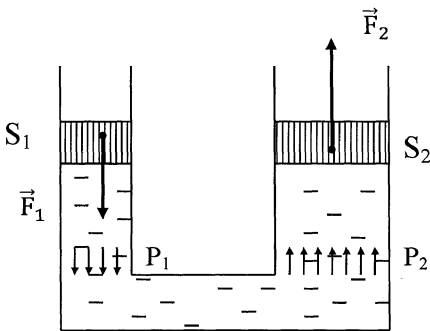


Рис.10

$P_1 = P_2$, то

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2} \Rightarrow \boxed{\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}}. \quad (9)$$

Видно (9), что сила F_2 во столько раз больше силы F_1 , во сколько раз S_2 больше S_1 . Таким образом, *гидравлический пресс дает выигрыш в силе*. При этом

большой поршень поднимется на высоту h_2 (рис. 11). Так как жидкость несжимаемая, то ее объем $V_1 = S_1 h_1$, выталкиваемый малым поршнем, будет равен объему V_2 , который займет жидкость под большим поршнем ($V_1 = V_2$). Учитывая, что $V_2 = S_2 h_2$, получим

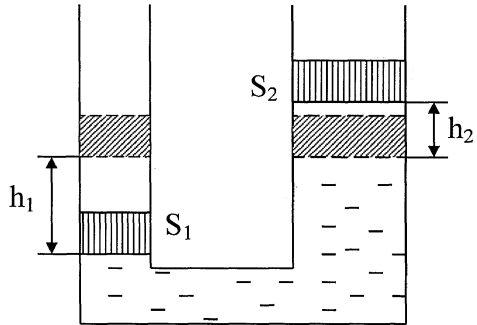


Рис.11

$$h_1 S_1 = h_2 S_2 \Rightarrow$$

$$\boxed{\frac{S_2}{S_1} = \frac{h_1}{h_2}}. \quad (10)$$

Решая совместно (9) и (10), находим

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{h_1}{h_2} \Rightarrow \boxed{F_1 h_1 = F_2 h_2}. \quad (11)$$

Формула (11) показывает, что для гидравлического пресса, как и для всех простых механизмов, справедливо “золотое правило механики”.

§ 7. Закон Архимеда

Пусть прямоугольный параллелепипед высотой h и площадью основания S погружен в жидкость плотностью $\rho_{ж}$ (рис. 12). Сила давления жидкости на верхнюю грань $F_1 = P_1 S = \rho_{ж} g h_1 S$, а на нижнюю грань $F_2 = P_2 S = \rho_{ж} g h_2 S$. Здесь P_1 и P_2 – гидростатическое давление жидкости на глубине h_1 и h_2 соответственно. Так как $h_2 > h_1$, а следовательно,

$F_2 > F_1$, то равнодействующая данных сил направлена вверх и называется силой Архимеда \vec{F}_A . Таким образом, модуль силы Архимеда

$$F_A = F_2 - F_1 = \rho_{ж}g(h_2 - h_1)S = \rho_{ж}ghS.$$

$$F_A = \rho_{ж}gV. \quad (12)$$

Если тело погружено неполностью в жидкость, то в формуле (12) под величиной V понимают объем той части тела, которая находится в жидкости. Следовательно,

$$F_A = \rho_{ж}gV_{\text{погр}}.$$

Здесь $V_{\text{погр}}$ – объем той части тела, которая погружена в жидкость.

Закон Архимеда: на тело, погруженное в жидкость (газ), действует выталкивающая сила (сила Архимеда \vec{F}_A), численно равная весу вытесненной жидкости (вытесненного газа).

Так как в формуле (12) объем тела V равен объему вытесненной жидкости $V_{ж}$, то $\rho_{ж}V_{ж} = m_{ж}$, где $m_{ж}$ – масса вытесненной жидкости. Тогда сила Архимеда

$$F_A = m_{ж}g.$$

Здесь $m_{ж}g$ – сила тяжести жидкости, численно равная весу жидкости.

Тело, погруженное в жидкость, находится в равновесии, если сила тяжести тела $m\vec{g}$ (рис. 13) уравновешивается выталкивающей силой Архимеда \vec{F}_A :

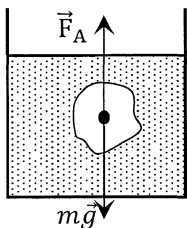


Рис. 13

$$\vec{F}_A + m\vec{g} = 0 \Rightarrow mg = F_A.$$

Если при заданном погружении $F_A > mg$, то тело выталкивается до тех пор, пока не будет выполнено условие:

$$mg = F_A.$$

При $mg > F_A$ тело тонет.

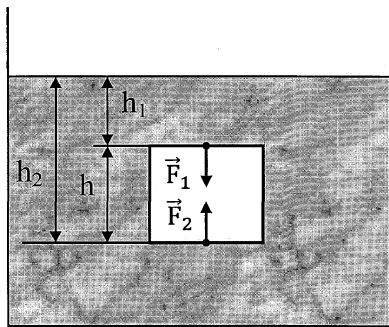


Рис. 12

Определим вес тела, находящегося в жидкости. Для этого подвесим тело на нити (рис. 14), так как вес \vec{P} применен к подвесу и представляет силу, с которой тело растягивает подвес.

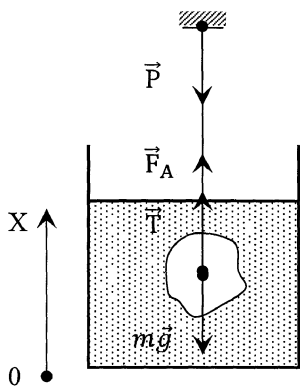


Рис. 14

По третьему закону Ньютона вес тела

$$P = T \quad (14)$$

Решая совместно (14) и (15), получаем выражение для расчета веса тела, находящегося в жидкости:

$$P = mg - F_A$$

§ 8. Примеры решения задач

Задача 1

Два однородных кубика массами 0,3 кг и 1,2 кг с длинами ребер соответственно 0,08 м и 0,12 м соединены при помощи однородного стержня длиной 0,1 м и массой 0,6 кг. Концы стержня прикреплены к серединам граней кубиков, а центры кубиков лежат на продолжении оси стержня. Определить положение центра тяжести системы.

Дано:

$$m_1 = 0,3 \text{ кг}$$

$$m_2 = 1,2 \text{ кг}$$

$$l_1 = 0,08 \text{ м}$$

$$l_2 = 0,12 \text{ м}$$

$$m = 0,6 \text{ кг}$$

$$l = 0,1 \text{ м}$$

$$x = ?$$

К системе приложены три силы тяжести $m_1\vec{g}$, $m_2\vec{g}$ и $m\vec{g}$ (рис. 15). Чтобы система находилась в равновесии, в центре тяжести ее (точка С) поместим опору. Тогда появится еще одна сила, действующая на систему, – сила реакции опоры \vec{N} . Обозначим через x расстояние от центра тяжести системы до центра тяжести О стержня.

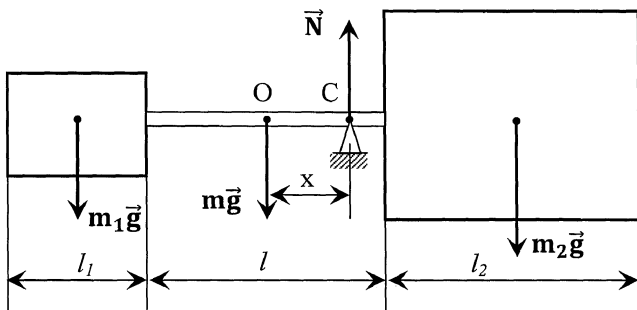


Рис. 15

Запишем правило моментов относительно оси, проходящей через точку С:

$$-m_1g\left(\frac{l_1}{2} + \frac{l}{2} + x\right) - mgx + m_2g\left(\frac{l_2}{2} + \frac{l}{2} - x\right) = 0.$$

Откуда

$$x = \frac{m_2(l_2 + l) - m_1(l_1 + l)}{2(m_1 + m_2 + m)}.$$

Подставим числовые значения и сделаем вычисления:

$$x = \frac{1,2(0,12 + 0,1) - 0,3(0,08 + 0,1)}{2(0,3 + 1,2 + 0,6)} = 0,05 \text{ м}.$$

Ответ: центр тяжести системы находится на расстоянии $x = 0,05$ м от середины стержня, то есть в точке прикрепления второго кубика.

Задача 2

Балка массой 600 кг подвешена за концы на двух пружинах (рис. 16). Найти жесткость каждой пружины, если изменение длины каждой пружины составило 2 см. Расстояние $AD = 5$ м, $CD = 1$ м. Центр тяжести балки находится в точке C .

Дано:	СИ	К балке приложена сила упругости первой пружины \vec{F}_1 , сила упругости второй пружины \vec{F}_2 и сила тяжести $m\vec{g}$. Под действием данных сил балка находится в равновесии, поэтому воспользуемся - условиями равновесия. Запишем правило моментов относительно оси, проходящей через точку D :
$m = 600$ кг	$2 \cdot 10^{-2}$ м	
$\Delta l = 2$ см		
$AD = 5$ м		
$CD = 1$ м		
k_1, k_2		

$$F_1 \cdot AD - mg \cdot CD = 0.$$

Отсюда

$$F_1 = mg \frac{CD}{AD}. \quad (15)$$

Согласно закону Гука

$$F_1 = k_1 \cdot \Delta l. \quad (16)$$

Сопоставляя (15) и (16), получаем выражение для жесткости первой пружины

$$k_1 = mg \frac{CD}{AD \cdot \Delta l}.$$

Подставим числовые значения и выполним расчет:

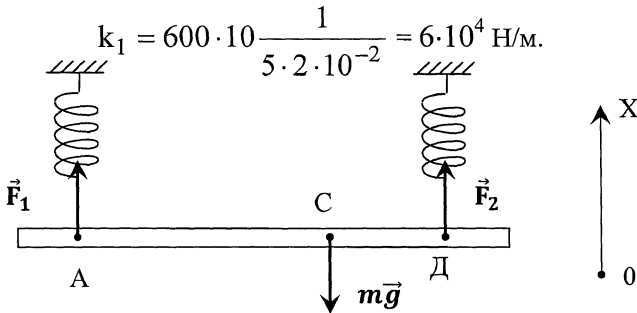


Рис. 16

Для нахождения силы упругости F_2 воспользуемся еще одним условием равновесия, которое имеет вид

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + m\vec{g} = 0. \quad (17)$$

Спроецируем (17) на ось X :

$$F_1 + F_2 - mg = 0.$$

Отсюда

$$F_2 = mg - F_1. \quad (18)$$

Согласно закону Гука

$$F_2 = k_2 \Delta l. \quad (19)$$

Подставляя (16) и (19) в уравнение (18), получаем

$$k_2 = \frac{mg}{\Delta} - k_1 = \frac{600 \cdot 10}{2 \cdot 10^{-2}} - 6 \cdot 10^4 = 24 \cdot 10^4 \text{ Н/м.}$$

Ответ: жесткость первой пружины $k_1 = 6 \cdot 10^4$ Н/м; жесткость второй пружины

$$k_2 = 2,4 \cdot 10^5 \text{ Н/м.}$$

Задача 3

Лестница длиной 4 м приставлена к идеально гладкой стене под углом к полу 60° . Максимальная сила трения между лестницей и полом 200 Н. На какую высоту может подняться по лестнице человек массой 60 кг, прежде чем лестница начнет скользить. Массой лестницы пренебречь.

Дано:

$$l = 4 \text{ м}$$

$$\alpha = 60^\circ$$

$$F_{\text{тр}} = 200 \text{ Н}$$

$$m = 60 \text{ кг}$$

$$h - ?$$

На лестницу действуют сила нормальной реакции пола \vec{N}_A , сила нормальной реакции стены \vec{N}_B , сила трения $\vec{F}_{\text{тр}}$ и весе человека \vec{P} (рис. 17). Скольжение лестницы можно рассматривать как совокупность двух движений:

1) вращательного вокруг оси, проходящей через точку A ;

2) поступательного в направлении оси X .

Запишем правило моментов относительно оси, проходящей через точку A :

$$N_B \cdot OB - P \cdot AC = 0. \quad (20)$$

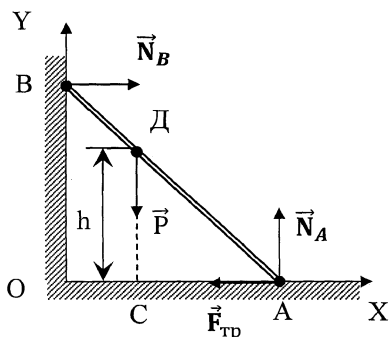


Рис.17

Из прямоугольных треугольников ОВА и АСД следует, что $OB = l \sin \alpha$, $AC = h \operatorname{ctg} \alpha$.

Вес человека P численно равен его силе тяжести mg . Тогда (20) примет вид

$$N_B l \sin \alpha = mg \cdot h \cdot \operatorname{ctg} \alpha. \quad (21)$$

Запишем второе условие равновесия, исключающее поступательное движение:

$$\vec{N}_B + \vec{P} + \vec{F}_{\text{тр}} + \vec{N}_A = 0.$$

$$\text{Ox: } N_B - F_{\text{тр}} = 0 \Rightarrow N_B = F_{\text{тр}}. \quad (22)$$

Решая совместно (21) и (22), получаем

$$h = \frac{F_{\text{тр}} \cdot \sin^2 \alpha}{mg \cdot \cos \alpha} = \frac{200 \cdot 4 \cdot 3}{60 \cdot 10 \cdot 0,5 \cdot 4} = 2 \text{ м.}$$

Ответ: человек может подняться на высоту $h = 2$ м.

Задача 4

На кронштейне ABC, изображенном на рис. 18, висит алюминиевый груз массой 200 кг. Определить силу, растягивающую тягу AB и сжимающую подкос BC, если груз опущен в воду, а угол $\alpha = 30^\circ$. Чему равен вес груза?

Дано:
 $m = 200$ кг
 $\alpha = 30^\circ$

На груз действуют сила тяжести $m\vec{g}$, сила упругой реакции нити \vec{T} и сила Архимеда \vec{F}_A . Вес груза \vec{P} приложен к нити в точке В. По III закону Ньютона

$$F_1, F_2 \qquad P = T. \qquad (23)$$

Условие равновесия для груза в воде имеет вид

$$\vec{F}_A + \vec{T} + m\vec{g} = 0. \qquad (24)$$

Перепишем (24) в проекции на ось X :

$$F_A + T - mg = 0 \quad \Rightarrow \quad T = mg - F_A. \qquad (25)$$

Решая совместно (23) и (24), получаем

$$P = mg - F_A. \qquad (26)$$

Сила Архимеда

$$F_A = \rho_{\text{в}} g V_{\text{Al}} = \rho_{\text{в}} g \frac{m}{\rho_{\text{Al}}}. \qquad (27)$$

Здесь $\rho_{\text{в}} = 10^3 \text{ кг/м}^3$ – плотность воды, V_{Al} – объем груза, $\rho_{\text{Al}} = 2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ – плотность алюминия. Учитывая (27), находим вес груза

$$P = mg - \rho_{\text{в}} g \frac{m}{\rho_{\text{Al}}} = mg \left(1 - \frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{Al}}} \right).$$

Подставим в последнее равенство числовые значения:

$$P = 200 \cdot 10 \left(1 - \frac{10^3}{2,7 \cdot 10^3} \right) = 1,26 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Разложим вес груза \vec{P} в точке В на две составляющие \vec{F}_1 и \vec{F}_2 , причем сила \vec{F}_1 растягивает тягу АВ, а \vec{F}_2 – сжимает подкос ВС. Из прямоугольного треугольника находим:

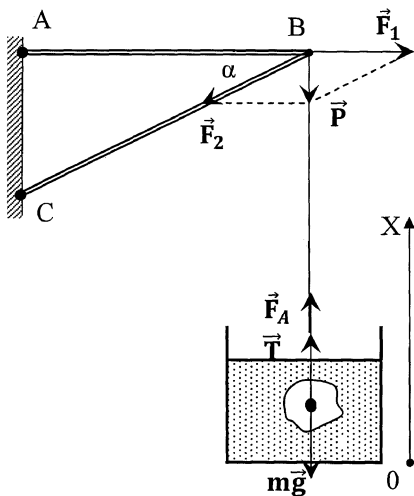


Рис.18

$$\frac{F_1}{P} = \operatorname{ctg} \alpha \Rightarrow F_1 = P \operatorname{ctg} \alpha,$$

$$\frac{P}{F_2} = \sin \alpha \Rightarrow F_2 = \frac{P}{\sin \alpha}.$$

После подстановки
числовых значений имеем

$$F_1 = 1,26 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{3} = 2,18 \cdot 10^3 \text{ Н},$$

$$F_2 = \frac{1,26 \cdot 10^3}{0,5} = 2,52 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

Ответ: вес груза $P = 1,26 \cdot 10^3 \text{ Н}$; сила, растягивающая тягу AB , $F_1 = 2,18 \cdot 10^3 \text{ Н}$; сила, сжимающая подкос BC , $F_2 = 2,52 \cdot 10^3 \text{ Н}$.

Задача 5

В сообщающиеся сосуды налита ртуть, а поверх нее в один сосуд налит столб воды высотой $0,8 \text{ м}$, в другой – столб керосина высотой $0,2 \text{ м}$. Определить разность уровней ртути в сосудах.

Дано:

$$h_1 = 0,8 \text{ м}$$

$$h_2 = 0,2 \text{ м}$$

$$\rho_1 = 10^3 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_2 = 0,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_3 = 13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

Введем обозначения:

h_1 – высота столба воды;

h_2 – высота столба керосина;

Δh – разность уровней ртути в сосудах;

ρ_1 – плотность воды;

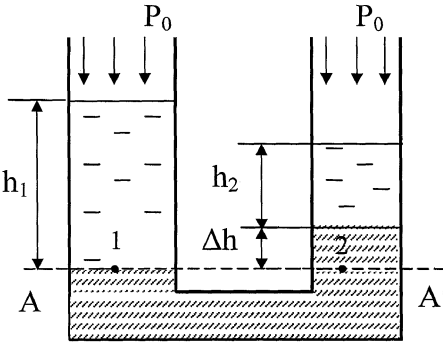
ρ_2 – плотность керосина;

ρ_3 – плотность ртути.

Δh - ?

Когда в сосудах находится только ртуть, она устанавливается на одном уровне. При доливании в левое колено воды (рис. 19), а в правое – керосина ртуть в левом колене опустится, а в правом поднимется, так как у воды плотность и высота столба больше, чем у керосина. Ниже горизонтального уровня AA' находится однородная жидкость (ртуть), поэтому давления на этом уровне в точках 1 и 2 будут одинаковы:

$$P_1 = P_2 . \quad (28)$$



Полные давления в точках 1 и 2 соответственно равны

$$P_1 = P_0 + \rho_1 g h_1 . \quad (29)$$

$$P_2 = P_0 + \rho_2 g h_2 + \rho_3 g \Delta h . \quad (30)$$

Подставим (29) и (30) в уравнение (28):

$$P_0 + \rho_1 g h_1 = P_0 + \rho_2 g h_2 + \rho_3 g \Delta h .$$

Рис. 19

Решая последнее уравнение относительно Δh , находим

$$\Delta h = \frac{\rho_1 h_1 - \rho_2 h_2}{\rho_3} .$$

Выполним расчеты:

$$\Delta h = \frac{10^3 \cdot 0,8 - 0,8 \cdot 10^3 \cdot 0,2}{13,6 \cdot 10^3} = 0,047 \text{ м} .$$

Ответ: разность уровней ртути в сосудах $\Delta h = 0,047 \text{ м}$.

Задача 6

Гидравлический подъемник мощностью 200 Вт поднимает груз. КПД подъемника 80%, площади поршней $0,1 \text{ м}^2$ и $0,2 \text{ м}^2$. Малый поршень делает 50 ходов за одну минуту, опускаясь за один ход на 20 см. Определите массу груза.

Дано:	СИ
$N_{\text{затр}} = 200 \text{ Вт}$	
$\eta = 0,8$	
$S_1 = 0,1 \text{ м}^2$	
$S_2 = 0,2 \text{ м}^2$	
$n_1 = 50$	
$h_1 = 20 \text{ см}$	$0,2 \text{ м}$
$t = 1 \text{ мин}$	60 с
$m - ?$	

В качестве гидравлического подъемника, называемого домкратом, используется гидравлический пресс (рис. 20). Коэффициент полезного действия η равен отношению полезной работы к затраченной:

$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{затр}}} \quad (31)$$

Полезная работа, которую совершает сила \vec{F}_2 при поднятии груза на высоту H_2

$$A_{\text{пол}} = F_2 H_2 \cos 0^\circ.$$

Так как F_2 по модулю должна быть не меньше силы тяжести груза ($F_2 \geq mg$), то минимальная полезная работа силы F_2 будет при $F_2 = mg$:

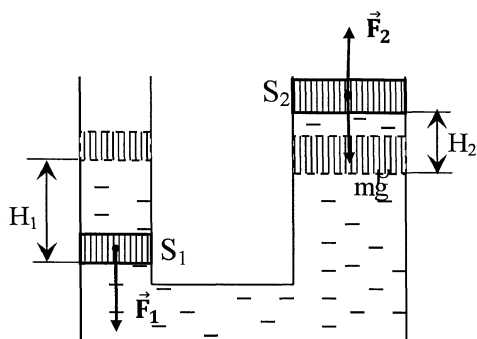


Рис. 20

$$A_{\text{пол}} = mgH_2 \quad (32)$$

Затраченная работа представляет собой работу двигателя подъемника

$$A_{\text{затр}} = N_{\text{затр}} \cdot t \quad (33)$$

Подставляя (32) и (33) в формулу (31), получаем

$$\eta = \frac{mgH_2}{N_{\text{затр}} t} \quad (34)$$

Так как жидкость под поршнями несжимаемая, то ее объем

$$V_1 = S_1 H_1 = S_1 n_1 h_1,$$

вытесняемый малым поршнем, будет равен объему

$$V_2 = S_2 H_2,$$

который займет жидкость под большим поршнем ($V_1 = V_2$):

$$S_1 n_1 h_1 = S_2 H_2 \Rightarrow H_2 = \frac{S_1 n_1 h_1}{S_2}. \quad (35)$$

Подставляя (35) в (34), находим

$$m = \frac{\eta N_{\text{загр}} \cdot t \cdot S_2}{g S_1 n_1 h_1}.$$

Выполним вычисления

$$m = \frac{0,8 \cdot 200 \cdot 60 \cdot 0,2}{10 \cdot 0,1 \cdot 50 \cdot 0,2} = 192 \text{ кг.}$$

Ответ: масса груза $m = 192$ кг.

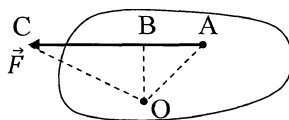
§ 9. Задания для самостоятельной работы с выбором ответа

1. На рычаг действуют две силы, плечи которых 0,1 м и 0,3 м. Сила, действующая на короткое плечо, равна 3 Н. Чему должна быть равна сила, действующая на длинное плечо, чтобы рычаг был в равновесии?

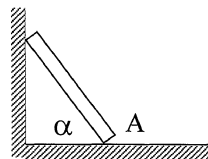
Ответ: _____ Н

2. Плечом силы \vec{F} относительно точки O называется отрезок ...

- 1) OA; 2) OB;
3) OC; 4) AB.

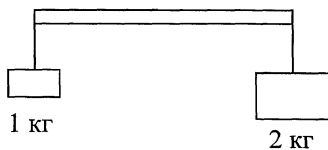


3. Балка длиной l и массой m прислонена к стене так, что образует с горизонтом угол α . Момент силы тяжести относительно оси, перпендикулярной плоскости чертежа и проходящей через точку A , равен ...



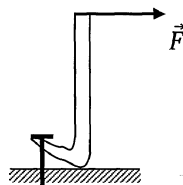
- 1) $mg \frac{l}{2}$; 2) $mg \frac{l}{2} \sin \alpha$; 3) $mg \frac{l}{2} \cos \alpha$; 4) $mg l \cos \alpha$.

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



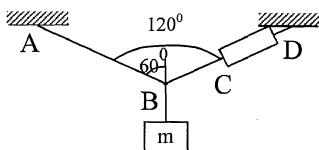
- 1) на расстоянии 1 м от груза массой 1 кг;
- 2) на расстоянии 1 м от груза массой 2 кг;
- 3) на середине линейки;
- 4) на расстоянии 0,5 м от груза массой 1 кг.
5. Гвоздь вытаскивают с помощью

гвоздодера, прикладывая к рукоятке силу $F = 80$ Н (см. рисунок). Какова сила сопротивления, которую приходится преодолевать, если длина рукоятки 25 см, а расстояние от гвоздя до опоры равно 8 см?



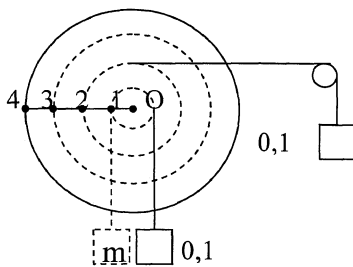
Ответ: _____ Н

6. Груз массой $m = 0,1$ кг подвешен с помощью системы двух невесомых нитей АВ и ВС и динамометра CD (см. рисунок). При этом динамометр показывает



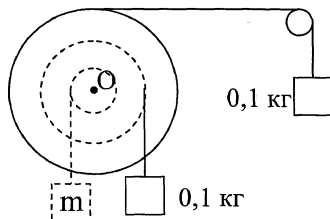
Ответ: _____ Н

7. При исследовании равновесия диска, имеющего ось вращения O, ученик собрал установку, представленную на рисунке. В какой точке (1, 2, 3, 4) необходимо подвесить груз массой $m = 0,1$ кг, чтобы диск находился в равновесии?



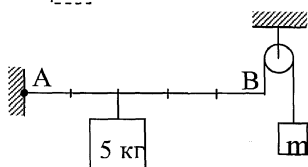
Ответ: _____

8. При исследовании равновесия диска, имеющего ось вращения O, ученик собрал установку, представленную на рисунке. Если диск находится в равновесии, то масса груза m равна



- 1) 0,1; 2) 0,2; 3) 0,3; 4) 0,5.

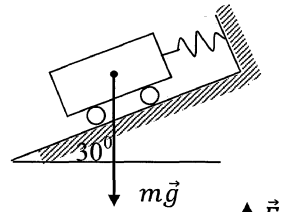
9. К рычагу АВ очень маленькой массы ученик подвесил груз массой 5 кг (см. рисунок). Для того чтобы рычаг остался в горизонтальном положении, к нити, перекинутой через блок, ученик должен подвесить груз массой m , равной



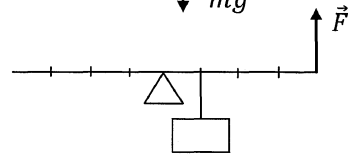
Ответ: _____ кг

10. На наклонной плоскости в покое находится тележка массой 0,1 кг (см. рисунок). Если сила трения пренебрежимо мала, то сила упругости пружины равна

- 1) 0,00 Н; 2) 0,50 Н;
3) 0,87 Н; 4) 1,00 Н.



11. На рисунке изображен рычаг, находящийся в равновесии. Длина рычага 80 см, масса груза 0,2 кг. Какова сила, приложенная к концу рычага?



Ответ: _____ Н

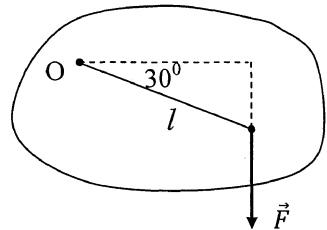
12. Ученики назвали четыре разных условия равновесия тела:

- А. Равенство нулю всех действующих на тело сил;
Б. Равенство нулю равнодействующей всех сил;
В. Равенство нулю моментов всех сил;
Г. Равенство нулю суммарного момента сил, действующих на тело.

Обязательными являются условия

- 1) А и Б; 2) А и В; 3) Б и В; 4) Б и Г.

13. К абсолютно твердому телу с неподвижной осью вращения, проходящей через точку О, приложена сила $F = 40$ Н. Кратчайшее расстояние от точки О до точки приложения силы \vec{F} $l = 1$ м. Чему равен момент силы относительно оси, проходящей через точку О?



- 1) 80 Н·м; 2) 34,6 Н·м;
3) 40 Н·м; 4) 20 Н·м.

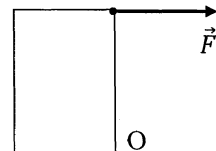
14. На наклонной плоскости находится брусок. При увеличении угла наклона плоскости до 30° брусок начинает скользить по плоскости. Чему равен коэффициент трения?

- 1) $\cos 30^\circ$; 2) $\sin 30^\circ$; 3) $\operatorname{ctg} 30^\circ$; 4) $\operatorname{tg} 30^\circ$.

15. Труба массой 100 кг лежит на земле. Какую наименьшую силу нужно приложить, чтобы приподнять трубу за один из концов?

Ответ: _____ Н

16. Брусок массой 10 кг нужно опрокинуть через ребро О. Какая наименьшая сила F необходима для этого, если ширина бруска 50 см, а высота 75 см?



Ответ: _____ Н

17. На наклонной плоскости с углом наклона к горизонту 30° стоит однородный цилиндр радиусом $\sqrt{3}$ см. Какова наибольшая высота цилиндра, при котором он еще не опрокидывается?

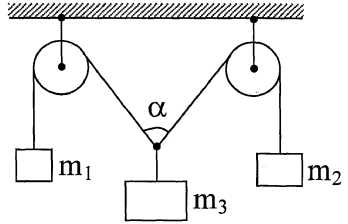
- 1) 6 см; 2) $\sqrt{3}$ см; 3) $2\sqrt{3}$ см; 4) 2 см.

18. К вертикальной гладкой стене подвешен на нити однородный шар. Нить образует со стенкой угол 30° . Найти отношение силы натяжения нити к силе давления шара на стену?

- 1) 1; 2) 1,15; 3) 2; 4) 0,5.

19. К концам нити, перекинутой через два блока, подвешены грузы массами $m_1 = 2$ кг и $m_2 = 3$ кг. При равновесии системы угол $\alpha = 60^\circ$. Определить массу груза m_3 .

- 1) 2,5 кг; 2) 3 кг; 3) 3,3 кг; 4) 4,4 кг.



20. Площадь малого поршня гидравлического пресса 10 см^2 , на него действует сила в 200 Н. Площадь большого поршня 200 см^2 . Какая сила действует на него?

- 1) 4 Н; 2) 10 Н; 3) 1 кН; 4) 4 кН.

21. Тело плавает в масле, причем под маслом находится 80% его объема. Чему равна плотность тела? Плотность масла $\rho_m = 900 \text{ кг/м}^3$.

Ответ: _____ кг/м^3

22. В цилиндр площадью основания $0,2 \text{ м}^2$ налита жидкость плотностью 800 кг/м^3 и объемом 10 л. Найти давление жидкости на дно сосуда.

Ответ: _____ Па

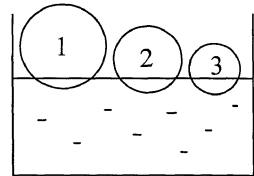
23. Тело массой 2 кг и объемом 10^{-3} м^3 находится в воде. Чему равен вес тела?

Ответ: _____ Н

24. Шар объемом 400 см^3 целиком опущен в воду. Архимедова сила равна

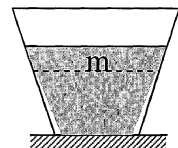
Ответ: _____ Н

25. На поверхности воды плавают три тела одинаковой массы, но разного объема (см. рисунок). На какое тело будет действовать меньшая архимедова сила?



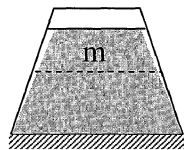
- 1) на первое; 2) на второе;
3) на третье;
4) на все три тела действуют одинаковые архимедовы силы.

26. В сосуд с водой, форма которого изображена на рисунке, долили воду массой m , при этом сила давления воды на дно неподвижного сосуда возросла на



- 1) $\Delta F > mg$; 2) $\Delta F = mg$; 3) $\Delta F < mg$; 4) $\Delta F = 0$.

27. В неподвижный сосуд с водой, форма которого изображена на рисунке, долили воду массой m , при этом сила давления воды на дно неподвижного сосуда возросла на



- 1) $\Delta F = mg$; 2) $\Delta F > mg$; 3) $\Delta F < mg$;
 4) ΔF , которая никак не зависит от m .

28. Определить силу давления жидкости плотностью 10^3 кг/м^3 на боковую стенку кубического сосуда объемом 27 м^3 , полностью заполненного жидкостью.

- 1) 135 кН; 2) 270 кН; 3) 405 кН; 4) 540 кН.

29. Лыдина плавает в море. Объем надводной части 150 м^3 . Определить объем всей лыдины. Плотность морской воды принять равной 10^3 кг/м^3 .

Ответ: _____ м^3

30. Тело массой 1 кг и объемом 10^{-3} м^3 находится в масле. Чему равен вес тела?

Ответ: _____ Н

31. В сосуд кубической формы налита жидкость. Какова высота столба жидкости h в сосуде, если сила давления жидкости на дно равна силе давления ее на боковую поверхность сосуда, а ребро куба равно a ?

- 1) a ; 2) $a/2$; 3) $a/4$; 4) $a/\sqrt{2}$.

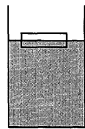
32. Тело плавает в керосине, погружаясь на 0,75 объема. Какова плотность вещества тела? Плотность керосина 800 кг/м^3 .

Ответ: _____ кг/м^3

33. Деревянный брусок плавает в воде. Какая часть его погружена в воду? Плотность дерева $\rho = 600 \text{ кг/м}^3$.

- 1) 0,2; 2) 0,4; 3) 0,5; 4) 0,6.

34. Два одинаковых бруса толщиной 10 см каждый, связаны друг с другом, плавают в воде так, что уровень воды приходится на границу между ними (см. рисунок). На сколько увеличится глубина погружения стопки брусков, если в неё добавить еще один такой же брусок?



Ответ: _____ см

35. Подвешенный на нити алюминиевый кубик целиком погружён в воду и не касается дна сосуда. Длина ребра кубика равна 10 см. На кубик действует выталкивающая (архимедова) сила, равная

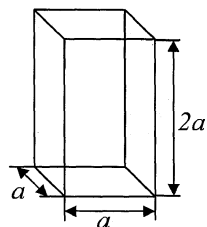
Ответ: _____ Н

36. Сосновый брусок объемом $0,06 \text{ м}^3$ плавает в воде, погружившись на 0,4 своего объема. На брусок действует выталкивающая (архимедова) сила, равная

Ответ: _____ Н

37. Сосуд, изображенный на рисунке, доверху наполнили керосином. Найдите давление керосина на дно сосуда, если величина $a=50\text{см}$. Атмосферное давление не учитывать.

Ответ: _____ Па



§ 10. Задания для самостоятельной работы с кратким ответом

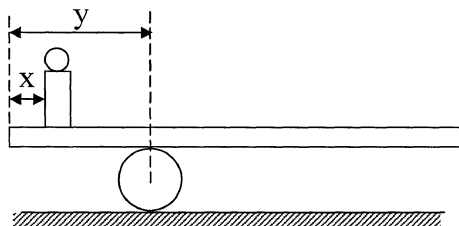
1. На рычаг действуют две силы, плечи которых $0,1\text{ м}$ и $0,4\text{ м}$. Сила, действующая на короткое плечо, равна 8 Н . Чему равна сила, действующая на длинное плечо, если рычаг находится в равновесии?

Ответ: _____ Н

2. Какую силу прикладывает рабочий перпендикулярно доске массой 40 кг , чтобы удерживать ее за один конец в положении, когда другим концом доска упирается о землю, образуя с горизонтом угол 30° ?

Ответ: _____ Н

3. На расстоянии $x = 50\text{ см}$ от края 6-метровой доски установлена гиря. Доска с гирей, положенные на поперечное бревно, будут находиться в равновесии, если расстояние от бревна до края доски составляет $y = 2\text{ м}$. Определить отношение масс доски и гири.

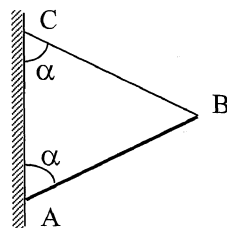


4. К вертикальной стене на нити длиной 4 см подвешен шар радиусом $2,5\text{ см}$ и массой $0,3\text{ кг}$. Найти силу давления шара на стену.

Ответ: _____ Н

5. Стержень АВ массой 10 кг одним концом шарнирно прикреплен к вертикальной стене, другой его конец удерживается нитью ВС, которая прикреплена к стене на одной вертикали с шарниром. Нить и стержень образуют со стеной равные углы 60° . Найти силу натяжения нити.

Ответ: _____ Н



6. Лыдина массой 900 кг плавает в воде. Чему равен объем подводной части лыдины? Ответ: _____ м^3

7. Чему равно давление 800 кг воды, находящейся в кубическом сосуде с ребром 1 м, на дно этого сосуда?

Ответ: _____ кПа

8. Каков объем алюминиевого тела, имеющего массу 2,7 кг?

Ответ: _____ дм³

9. Стеклопая трубка диаметром 5 см, нижний конец которой закрыт пластинкой, опущена в воду на глубину 80 см. Какой массы груз надо положить на пластинку, чтобы она отделилась от трубки?

Ответ: _____ кг

10. Стеклопая трубка с одной стороны закрыта легкой пластиной и этим концом опущена вертикально в воду на глубину 0,4 м. Какой высоты нужно налить в трубку столбик керосина плотностью 800 кг/м³, чтобы пластина отпала?

Ответ: _____ м

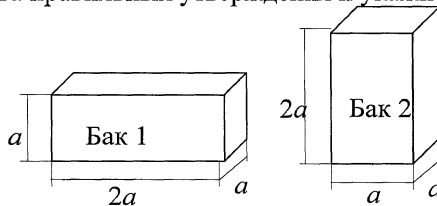
11. В цилиндрический сосуд налиты равные по массе количества воды и ртути. Общая высота столба жидкости в сосуде 14,3 см. Чему равно давление на дно сосуда?

Ответ: _____ кПа

12. Аэростат массой 500 кг и объемом 600 м³ поднимается равномерно вертикально вверх. На какую высоту поднимается аэростат за 10 секунд? Плотность воздуха 1,3 кг/м³. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Ответ: _____ м

13. На полу лифта расположены два одинаковых металлических бака, в которых доверху налита вода (см. рисунок). Из приведенного ниже списка выберите два правильных утверждения и укажите их номера.



1) давление воды на дно первого бака в 4 раза меньше, чем на дно второго.

2) первый бак давит на пол лифта с силой, в 2 раза меньшей, чем второй.

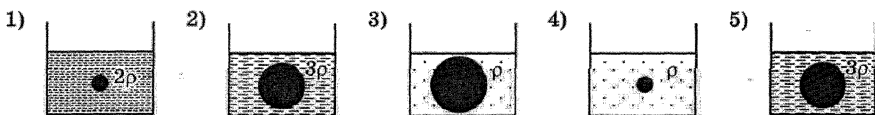
3) сила давления воды на дно первого бака в 2 раза меньше давления, чем второй.

4) первый бак оказывает на пол лифта в 2 раза меньше давление, чем второй.

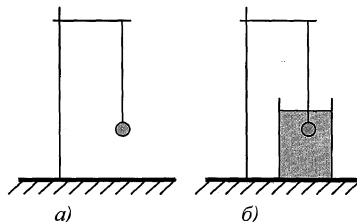
5) если лифт начнет движение вниз с ускорением 2 м/с², давление на дно баков уменьшится на 25 %

Ответ: _____

14. Ученик изучает закон Архимеда, изменяя в опытах объем погруженного в жидкость тела и плотность жидкости. Какие два опыта он должен выбрать, чтобы обнаружить зависимость архимедовой силы от плотности жидкости? (на рисунках указана плотность жидкости.)



15. Стальной шарик висит на нитке, привязанной к штативу (а). Затем под шарик подставили стакан с водой, и шарик оказался целиком в воде (б). Как изменились при этом сила натяжения нити и сила тяжести, действующая на шарик?



Для каждой величины определите соответствующий характер ее изменения:

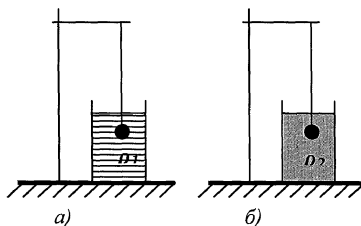
- 1) увеличилась
- 2) уменьшилась
- 3) не изменилась

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответах могут повторяться.

Ответ:

Сила натяжения нити	Сила тяжести, действующая на шарик

16. Стальной шарик висит на нитке, привязанной к штативу. Шарик целиком погружен в керосин (а). Затем стакан с керосином заменили на стакан с водой, и шарик оказался целиком в воде (б). Как изменились при этом сила натяжения нити и сила Архимеда, действующая на шарик?



Для каждой величины определите соответствующий характер ее изменения:

- 1) увеличилась
- 2) уменьшилась
- 3) не изменилась

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответах могут повторяться.

Ответ:

Сила натяжения нити	Сила Архимеда, действующая на шарик

§ 11. Задания для самостоятельной работы с развернутым ответом

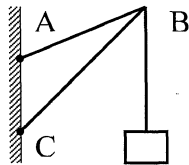
1. К середине троса длиной 20 м подвешен груз массой 8 кг, вследствие чего трос провисает на 10 см. Определить силу натяжения троса.

2. С какой минимальной силой нужно прижимать брусок массой 1 кг к вертикальной стене с коэффициентом трения 0,5, чтобы он не соскальзывал вниз?

3. Двое рабочих несут цилиндрическую трубу массой 80 кг. Один человек поддерживает трубу на расстоянии 1 м от ее конца, а второй держит противоположный конец трубы. Определить нагрузку, приходящуюся на каждого человека, если длина трубы 5 м.

4. Балку массой 800 кг и длиной 4 м подпирают на расстоянии 1,9 м от левого конца. На каком расстоянии от ее правого конца должен встать человек массой 80 кг, чтобы балка была в равновесии?

5. Определить силу, растягивающую тягу АВ и сжимающую подкос ВС кронштейна АВС, если масса фонаря, подвешенного в точке В, равна 6 кг. Расстояния АВ = 0,4 м; ВС = 0,8 м; АС = 0,5 м.



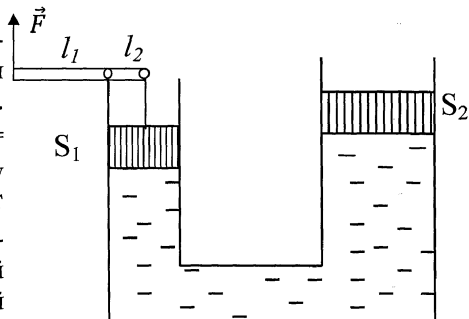
6. У гладкой стены стоит лестница массой 10 кг и длиной $l = 4$ м с центром тяжести посередине. Коэффициент трения между лестницей и полом 0,5; угол между полом и лестницей 60° . На какую максимальную высоту может подняться человек массой 50 кг прежде, чем лестница начнет скользить?

7. Под каким наибольшим углом к гладкой стене может находиться прислоненная к ней лестница, если коэффициент трения между полом и лестницей равен 0,5.

8. Малый поршень гидравлического пресса за один ход опускается на 25 см, а большой при этом поднимается на 5 мм. Каково соотношение между площадями поршней? Какая сила будет передаваться на большой поршень, если на малый действует сила 20 Н? Сделайте рисунок.

9. Малый поршень гидравлического пресса за один ход опускается на расстояние $h_1 = 0,2$ м, а большой поднимается на $h_2 = 0,01$ м. С какой силой F_2 действует пресс на зажатое в нем тело, если на малый поршень действует сила $F_1 = 500$ Н? Какую работу совершит сила F_2 за пять ходов поршня? Трением пренебречь.

10. На малый поршень гидравлического пресса сила давления передается с помощью рычага (см. рис.), плечи которого равны $l_1 = 1,35$ м и $l_2 = 0,15$ м. К длинному концу рычага l_1 приложена сила $F = 200$ Н. Определите силу давления, действующую на большой поршень, если за один ход малый поршень опускается на 5 см, а большой поднимается на 2,5 мм.



11. Пенопластовый шарик, погруженный в воду на глубину 30 см, всплывает на поверхность за 0,2 с. Сила сопротивления воды 2,5 Н. Определить объем шарика. Плотность пенопласта 200 кг/м^3 , плотность воды 1000 кг/м^3 .

12. Пробковый шарик находится под водой на глубине 2 м. Какой будет скорость шарика, когда он, всплывая, достигнет поверхности воды? На какую высоту он подпрыгнет? Сила сопротивления воды постоянна и равна $2mg$.

13. Медный шар, имеющий полость, весит в вакууме 1,78 Н, а в воде 1,42 Н. Определить объем полости. Плотность меди и воды 8900 кг/м^3 и 1000 кг/м^3 , соответственно.

14. Плотность жидкости в 1,5 раза больше плотности материала тела. Какая часть объема тела будет погружена в жидкость, если тело поместить в жидкость?

15. Какой минимальный груз из свинца нужно подвесить к куску пробки массой 1 кг, чтобы пробка и груз полностью погрузились в воду?

16. Бревно, длина которого 3,5 м, а диаметр 30 см плавает в воде. Какова масса человека, который может стоять на бревне, не замочив ног? Плотность дерева

$$\rho = 0,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

17. Что называется весом тела? Вес тела в воде в три раза меньше, чем в воздухе. Какова плотность материала тела? Выталкивающей силой воздуха пренебречь.

18. Стальной куб с ребром 0,2 м плавает в ртути. Поверх ртути налили воду так, что она только покрыла куб. Какова высота слоя воды? Найти силу давления и давление жидкости на нижнюю грань куба.

19. Какова должна быть высота цилиндрического сосуда радиусом 5 см, заполненного водой, чтобы сила давления воды на дно сосуда была равна силе ее давления на боковую поверхность.

20. Алюминиевый шар ($\rho = 2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$) лежит на дне сосуда, заполненного водой. Во сколько раз изменится вес шара P и его сила тяжести, если воду слить?

Г Л А В А V

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

§ 1. Основные понятия и определения

Молекулярная физика изучает строение и свойства вещества исходя из молекулярно-кинетической теории. Эта теория основывается на следующих положениях:

- 1) любое тело состоит из большого числа молекул, которые состоят из атомов;
- 2) молекулы взаимодействуют друг с другом;
- 3) молекулы находятся в непрерывном беспорядочном движении.

В молекулярно-кинетической теории пользуются моделью идеального газа. Идеальным газом называется газ, у которого а) можно пренебречь размерами молекул; б) можно пренебречь силами взаимодействия между молекулами на расстоянии; в) соударения молекул между собой и со стенками сосуда можно рассматривать как соударения упругих шаров.

Реальные газы при условиях, близких к нормальным (н.у.), а также при низких давлениях и высоких температурах можно считать идеальными. Нормальным условиям соответствуют температура $T = 273 \text{ К}$ и давление $P = 10^5 \text{ Па}$.

В международной системе единиц (СИ) количество вещества выражают в молях. Один моль – это количество вещества, в котором содержится столько же молекул, сколько атомов содержится в 12 г углерода. Поэтому один моль любого вещества содержит одно и то же число молекул N_A , называемое постоянной Авогадро:

$$N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}.$$

Если газ содержит N молекул, то, очевидно, что число ν молей газа, или количество вещества

$$\boxed{\nu = \frac{N}{N_A}} \quad (1)$$

Масса 1 моля вещества называется молярной массой μ . Если m – масса всего газа, то число молей

$$\boxed{v = \frac{m}{\mu}} \quad (2)$$

В этом случае масса m_0 одной молекулы

$$\boxed{m_0 = \frac{\mu}{N_A}} \quad (3)$$

Относительной молекулярной массой вещества M_r называется отношение массы молекулы m_0 данного вещества к $1/12$ массы атома углерода m_{0C} :

$$M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12} m_{0C}}$$

Относительную молекулярную массу находим в таблице Менделеева, а молярную массу по формуле, которой связаны данные величины в единицах СИ:

$$\boxed{\mu = M_r \cdot 10^{-3}, \quad \frac{\text{КГ}}{\text{МОЛЬ}}}$$

Например, для молекулы кислорода (O_2) $M_r = 32$, а $\mu_{O_2} = 32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. Для молекулы гелия (He) $M_r = 4$, а $\mu_{He} = 4 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

§ 2. Броуновское движение. Диффузия

Доказательством беспорядочного (теплового) движения молекул служит броуновское движение, под которым понимают непрерывное хаотическое движение взвешенных частиц в жидкости или газе. Так как молекулы среды движутся беспорядочно, то взвешенная частица в любой момент времени испытывает неуравновешенное воздействие, сила которого непрерывно меняется по величине и направлению. Поэтому частицы непрерывно движутся, изменяя направление и величину скорости. С увеличением температуры интенсивность броуновского движения растет.

Для наблюдения броуновского движения используют частички краски, которая нерастворима в воде. Английский ботаник Броун впервые наблюдал это явление на частицах цветочной пыльцы в воде. Броуновское движение можно наблюдать и в газе. Его совершают, например, взвешен-

ные в воздухе частицы пыли. В солнечных лучах можно наблюдать «танец пылинок» под действием толчков молекул воздуха.

Таким образом, *броуновское движение показывает, что тела состоят из молекул, и молекулы находятся в непрерывном беспорядочном движении.*

Еще одним доказательством теплового движения молекул служит диффузия. Диффузией называется процесс самопроизвольного выравнивания концентраций двух веществ при их смешении друг с другом. Взаимное проникновение веществ является результатом беспорядочного движения их частиц и изменения концентрации вдоль какого-либо направления. В этом направлении и происходит диффузия. Диффузия наблюдается в газах, жидкостях и твердых телах.

Диффузия ускоряется с повышением температуры. Это объясняется тем, что при повышении температуры возрастают скорости движения молекул. Так, например, в горячей воде сахар растворяется быстрее, чем в холодной.

§ 3. Силы взаимодействия между молекулами

Между молекулами вещества существуют силы притяжения $F_{\text{прит}}$ и силы отталкивания $F_{\text{отт}}$. Принято считать силы притяжения отрицательными, а силы отталкивания положительными. График зависимости силы \vec{F} взаимодействия между молекулами от расстояния r между центрами молекул имеет вид (рис. 1)

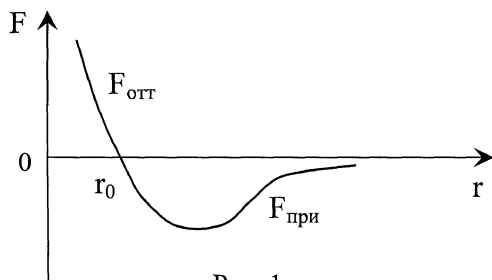


Рис. 1

Здесь r_0 — расстояние между молекулами, при котором равнодействующая сил притяжения и отталкивания равна нулю ($\vec{F}_{\text{отт}} + \vec{F}_{\text{прит}} = 0$). Величина r_0 различна для молекул разных веществ. Если предположить, что молекулы имеют форму шара, то r_0 того же порядка, что и диаметр молекул d .

В газах расстояние между молекулами $l \gg r_0$. Поэтому газы легко сжимаются, при этом уменьшается расстояние между молекулами.

Молекулы жидкости расположены почти вплотную друг к другу. Молекула жидкости колеблется около положения равновесия; время «оседлой

жизни» молекулы воды при комнатной температуре порядка 10^{-11} с. С увеличением температуры это время уменьшается. Так как молекулы жидкости находятся непосредственно друг возле друга, то жидкость обладает малой сжимаемостью. Кроме того, жидкости текучи, т.е. не сохраняют свой объем.

Твердые тела разделяются на кристаллические и аморфные. В кристаллических телах частицы (атомы, ионы или молекулы) занимают определенные, упорядоченные положения в пространстве. Частицы колеблются около определенных положений равновесия. Все кристаллические тела анизотропны. Анизотропией называется зависимость физических свойств от направления внутри кристалла. Кристаллические тела изображают в виде пространственной решетки, называемой кристаллической. Типичным представителем являются металлы, у которых в узлах решетки находятся положительные ионы, а в междуузлиях свободно перемещаются так называемые электроны проводимости.

У аморфных тел нет строгого порядка в расположении частиц. Поэтому все аморфные тела изотропны, т.е. их физические свойства одинаковы по всем направлениям. К ним относятся стекло, смола, янтарь и др. Кристаллические тела имеют определенную температуру плавления (рис. 2).

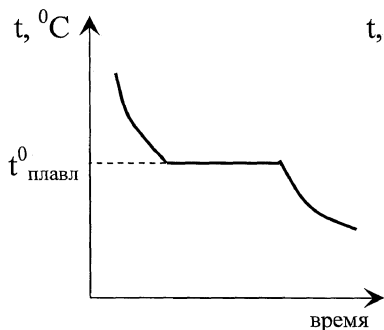


Рис. 2

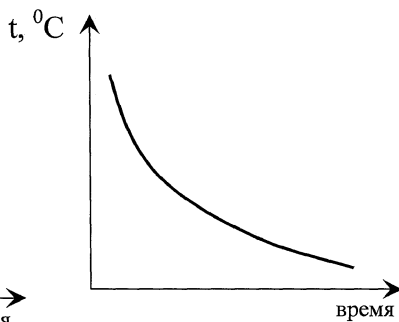


Рис. 3

У аморфных тел (рис. 3) определенной температуры плавления нет. Они размягчаются при повышении температуры постепенно.

§ 4. Уравнение состояния идеального газа. Закон Дальтона

Состояние заданной массы ($m = \text{const}$) газа определяется тремя его макроскопическими параметрами. Это давление P , объем V и температура T . Для заданной массы газа эта связь имеет вид

$$\boxed{\frac{PV}{T} = \text{const}} . \quad (4)$$

(4) – Уравнение Клапейрона или уравнение состояния заданной массы ($m = \text{const}$) идеального газа.

Если газ перешел из состояния 1 в состояние 2, то (4) примет вид

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} .$$

Для произвольной массы газа уравнение состояния идеального газа было получено Менделеевым и называется уравнением Менделеева-Клапейрона:

$$\boxed{PV = \frac{m}{\mu} RT} . \quad (5)$$

Здесь $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ – универсальная газовая постоянная. Из уравнения Менделеева-Клапейрона (5) можно выразить плотность газа ρ . Разделим обе части уравнения (5) на объем:

$$P = \frac{m}{V} \cdot \frac{RT}{\mu} . \quad (6)$$

Заменяя в уравнении (6) $\frac{m}{V}$ через ρ , получаем для плотности газа формулу

$$\boxed{\rho = \frac{P\mu}{RT}} . \quad (7)$$

Разделим и умножим правую часть уравнения (5) на постоянную Авогадро:

$$PV = \frac{m}{\mu} \cdot N_A \cdot \frac{R}{N_A} T . \quad (8)$$

Число молекул любого количества вещества согласно формулам (1) и (2)

$$N = \nu N_A = \frac{m}{\mu} \cdot N_A . \quad (9)$$

Отношение универсальной газовой постоянной R к постоянной Авогадро N_A дает новую постоянную k , называемую постоянной Больцмана:

$$k = \frac{R}{N_A}, \quad (10)$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К.

Подставляя (9) и (10) в уравнение (8), получаем

$$PV = NkT. \quad (11)$$

Число молекул газа, содержащихся в единице его объема, называется концентрацией молекул газа n :

$$n = \frac{N}{V}. \quad (12)$$

Учитывая (12), формулу (11) можно записать

$$P = nkT. \quad (13)$$

Из уравнения (13) вытекает, что при одинаковых давлениях и температурах концентрация молекул у всех газов одна и та же.

Закон Дальтона: давление смеси идеальных газов равно сумме парциальных давлений газов, образующих смесь. Если смесь состоит из N газов, то математическая запись закона Дальтона выглядит

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_N.$$

Здесь P_1, P_2, \dots, P_N – парциальные давления первого, второго и т.д. газов. Под парциальным давлением понимают давление, которое производит газ на стенки сосуда независимо от наличия других газов.

§ 5. Газовые законы

Рассмотрим изопроцессы, которые протекают при постоянном значении одного из параметров.

1. **Изотермический процесс** ($T = \text{const}$).

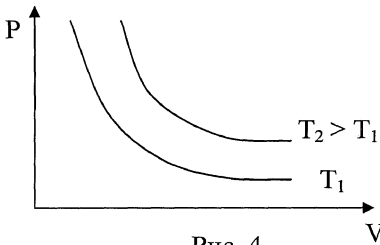
Для заданной массы газа ($m = \text{const}$) произведение давления газа на его объем постоянно, если температура газа не меняется. Данное утверждение называется законом Бойля-Мариотта, математическая запись которого выглядит так:

$$PV = \text{const} . \quad (14)$$

Если газ перешел из состояния 1 в состояние 2, то закон Бойля-Мариотта примет вид

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 .$$

Изобразим графически зависимость давления газа от его объема, которая представляет собой кривую, называемую изотермой (рис. 4). Изотерма представляет со-



бой гиперболу, так как зависимость между давлением и объемом обратно пропорциональная:

$$P = \frac{\text{const}}{V} .$$

2. Изобарный процесс ($P = \text{const}$).

Для заданной массы газа ($m = \text{const}$) отношение объема газа к его температуре постоянно, если давление газа не меняется. Этот закон называется законом Гей-Люссака, который математически записывается следующим образом:

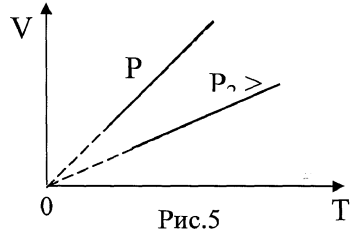
$$\frac{V}{T} = \text{const} . \quad (15)$$

Если газ перешел из состояния 1 в состояние 2, то закон Гей-Люссака примет вид

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} .$$

Изобразим графически зависимость объема газа от его температуры. Эта зависимость представляет собой прямую пропорциональность (рис. 5): $V = \text{const} \cdot T$.

На рис. 5 приведены при различных давлениях две прямые, которые называются изобарами. В области низких температур законы идеальных газов неприменимы. Поэтому изобары в этой области проведены пунктиром.



3. Изохорный процесс ($V = \text{const}$).

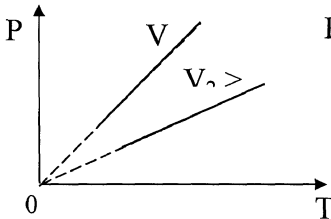
Для заданной массы газа ($m = \text{const}$) отношение давления газа к его температуре постоянно, если объем газа не меняется. Данное уравнение называется законом Шарля, математическая запись которого выглядит так:

$$\boxed{\frac{P}{T} = \text{const}} . \quad (16)$$

Если газ перешел из состояния 1 в состояние 2, то закон Шарля примет вид

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} .$$

Согласно уравнению (16) давление газа линейно зависит от температуры:



$$P = \text{const} \cdot T .$$

Эта зависимость изображается прямой, называемой изохорой (рис. 6). Разным объемам соответствуют разные изохоры.

§ 6. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа

При беспорядочном движении молекулы газа сталкиваются между собой и со стенками сосуда. В результате скорости молекул меняются по величине и направлению. Механическое действие ударов молекул о стенки сосуда представляет давление газа на стенки. Молекулярно-кинетическая теория позволяет рассчитать это давление. Расчет дает следующее выражение:

$$\boxed{P = \frac{1}{3} m_0 n \langle v \rangle^2}, \quad (17)$$

которое называется основным уравнением молекулярно-кинетической теории идеальных газов.

Здесь m_0 – масса одной молекулы газа, n – концентрация молекул газа; $\langle v \rangle^2$ – среднее значение квадрата скоростей молекул:

$$\langle v \rangle^2 = \frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2}{N},$$

где v_1, v_2, \dots, v_N – скорости отдельных молекул.

Умножим и разделим на 2 правую часть уравнения (17):

$$P = \frac{1}{3} \cdot n \cdot 2 \frac{m_0 \langle v \rangle^2}{2}.$$

Сомножитель $\frac{m_0 \langle v \rangle^2}{2}$ представляет собой среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекул. Обозначим ее через $\langle E_k \rangle$:

$$\langle E_k \rangle = \frac{m_0 \langle v \rangle^2}{2}. \quad (18)$$

С учетом (18) основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеальных газов примет вид

$$\boxed{P = \frac{2}{3} n \langle E_k \rangle}. \quad (19)$$

Сравнивая (19) с уравнением $P = nkT$ (13) из §4, получаем

$$\frac{2}{3} n \langle E_k \rangle = nkT.$$

$$\langle E_k \rangle = \frac{3}{2} kT . \quad (20)$$

Видно (20), что средняя кинетическая энергия $\langle E_k \rangle$ поступательного движения зависит только от абсолютной температуры T и прямо пропорциональна ей. Таким образом, абсолютная температура является мерой средней кинетической энергии поступательного движения молекул идеального газа. В этом заключается физический смысл абсолютной температуры.

Сопоставляя формулы (18) и (24), получаем

$$\frac{m\langle v \rangle^2}{2} = \frac{3}{2} kT \quad \Rightarrow$$

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} . \quad (21)$$

Выражение (21) позволяет рассчитать среднюю квадратичную скорость молекул $\langle v \rangle$. Если числитель и знаменатель подкоренного выражения умножить на число Авогадро N_A , то формула (21) примет вид

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} .$$

§ 7. Примеры решения задач

Задача 1

В баллоне вместимостью 15 л находится аргон под давлением 600 кПа и при температуре 300 К. Когда из баллона было взято некоторое количество газа, давление в баллоне понизилось до 400 кПа, а температура установилась 260 К. Определить массу аргона, взятого из баллона.

Дано:	СИ	Так как условия, при которых находится
$V = 15 \text{ л}$	$1,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$	газ, близки к нормальным, то газ можно считать идеальным. Объем, который занимает
$P_1 = 600 \text{ кПа}$	$6 \cdot 10^5 \text{ Па}$	аргон, в условиях задачи не меняется. Поэтому процесс является изохорным. Однако
$T_1 = 300 \text{ К}$		закон Шарля применять нельзя, так как этот закон справедлив для заданной массы газа,
$P_2 = 400 \text{ кПа}$	$4 \cdot 10^5 \text{ Па}$	то есть для $m = \text{const}$. В задаче масса аргона в баллоне не остается постоянной.
$T_2 = 260 \text{ К}$		
$\Delta m - ?$		

В данном случае необходимо воспользоваться уравнением Менделеева-Клапейрона, которое связывает основные термодинамические параметры (P , V , T) известного газа массой m , находящегося в определенном состоянии. Поэтому его называют еще уравнением состояния идеального газа.

Аргон находится в двух состояниях. Следовательно, уравнение Менделеева-Клапейрона можно записать дважды: для первого состояния

$$P_1 V = \frac{m_1}{\mu} \cdot R T_1 . \quad (22)$$

и для второго

$$P_2 V = \frac{m_2}{\mu} \cdot R T_2 . \quad (23)$$

Выразив из первого уравнения m_1 , а из второго – m_2 и взяв разность $m_1 - m_2$, найдем искомую величину

$$\Delta m = \frac{V \mu}{R} \left(\frac{P_1}{T_1} - \frac{P_2}{T_2} \right) .$$

Подставляя данные задачи и учитывая, что молярная масса аргона $\mu = 40 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$, окончательно получаем

$$\Delta m = \frac{15 \cdot 10^{-3} \cdot 40 \cdot 10^{-3}}{8,3} \left(\frac{6 \cdot 10^5}{300} - \frac{4 \cdot 10^5}{300} \right) = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ кг} .$$

Ответ: масса аргона, взятого из баллона, $\Delta m = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ кг}$.

Задача 2

Вычислить плотность азота, находящегося в баллоне под давлением 2 МПа и имеющего температуру 400 К.

Дано: СИ В условиях задачи газ можно считать
 $P = 2 \text{ МПа}$ $2 \cdot 10^6 \text{ Па}$ идеальным. Плотность ρ азота равна отношению массы азота к его объему:
 $T = 400 \text{ К}$

$\rho - ?$

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (24)$$

Отношение массы азота к его объему можно найти из уравнения Менделеева-Клапейрона

$$PV = \frac{m}{\mu} \cdot RT \Rightarrow \frac{m}{V} = \frac{P\mu}{RT}. \quad (25)$$

Сопоставляя (24) и (25), получаем окончательную формулу для расчета плотности азота:

$$\rho = \frac{P\mu}{RT}.$$

Подставим данные задачи в СИ и учтем, что молярная масса азота $\mu = 28 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$. Тогда

$$\rho = \frac{2 \cdot 10^6 \cdot 28 \cdot 10^{-3}}{8,3 \cdot 400} = 16,8 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Ответ: плотность азота в условиях задачи $\rho = 16,8 \text{ кг/м}^3$.

Задача 3

Определить суммарную кинетическую энергию поступательного движения всех молекул газа, находящегося в сосуде вместимостью $V = 3 \text{ л}$ под давлением 540 кПа.

Дано: СИ
 $V = 3 \text{ л}$ $3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$
 $P = 540 \text{ кПа}$ $5,4 \cdot 10^5 \text{ Па}$

$W_k - ?$

Заданное давление позволяет считать газ идеальным. Суммарная кинетическая энергия W_k поступательного движения всех молекул газа равна средней кинетической энергии поступательного движения одной молекулы $\frac{3}{2} kT$, умноженной на общее число молекул N , то есть

$$W_k = N \cdot \frac{3}{2} kT. \quad (26)$$

Общее число молекул, содержащееся в данной массе газа m , можно найти как произведение числа молей $\frac{m}{\mu}$ на число Авогадро N_A

$$N = \frac{m}{\mu} N_A.$$

Таким образом,

$$W_k = \frac{m}{\mu} N_A \cdot \frac{3}{2} kT = \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{\mu} \cdot RT.$$

Пользуясь уравнением Менделеева-Клапейрона $PV = \frac{m}{\mu} \cdot RT$, вы-

ражение для W_k можно представить в виде $W_k = \frac{3}{2} PV$. Подставим числовые значения

$$W_k = \frac{3}{2} \cdot 5,4 \cdot 10^5 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 2,4 \cdot 10^3 \text{ Дж}.$$

Ответ: суммарная кинетическая энергия поступательного движения всех молекул газа $W_k = 2,4 \cdot 10^3 \text{ Дж}$.

Задача 4

Два состояния одной и той же массы идеального газа показаны на диаграмме P - T точками A и B (рис. 7). Сравните объемы и плотности газа в этих состояниях.

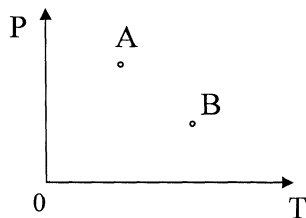


Рис. 7

Дано: $m = \text{const}$
 $V_A ? V_B - ?$
 $\rho_A ? \rho_B - ?$

Проведем через точки А и В две изохоры V_A и V_B график P-T (рис. 8). Затем через точку А (можно через точку В) проведем изотерму T_A . Запишем для данных состояний закон Бойля-Мариотта в виде

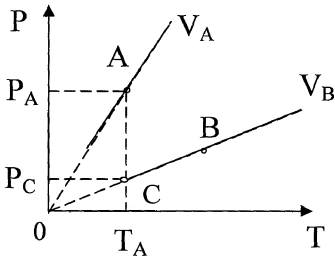


Рис.8

$$P_A V_A = P_C V_C \Rightarrow \frac{P_A}{P_C} = \frac{V_C}{V_A} \quad (27)$$

Из графика (рис. 8) видно, что

$$P_A > P_C. \quad (28)$$

Сопоставляя (27) и (28), получаем $V_C > V_A$. А так как точки С и В находятся на одной изохоре ($V_C = V_B$), то и $V_B > V_A$.

Аналогичный результат получим, если через точку А (или В) проведем изобару P_A (рис. 9). Запишем для данной изобары закон Гей-Люссака в виде

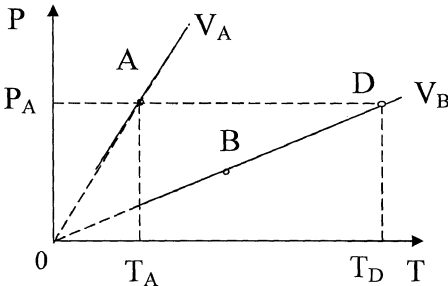


Рис.9

$$\frac{V_A}{T_A} = \frac{V_D}{T_D} \Rightarrow$$

$$\frac{T_D}{T_A} = \frac{V_D}{V_A}. \quad (29)$$

Из рис. 9 видно, что $T_D > T_A$. Следовательно, согласно (29) $V_D > V_A$. Так $V_B = V_D$, то и $V_B > V_A$.

Из формулы для плотности

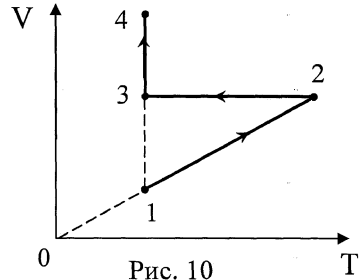
$$\rho = \frac{m}{V}$$

видно, что при $m = \text{const}$ плотность газа обратно пропорциональна его объему. Учитывая, что $V_B > V_A$, получаем $\rho_A > \rho_B$.

Ответ: объем газа в состоянии В больше, чем в состоянии А ($V_B > V_A$), а плотность газа в состоянии В меньше $\rho_B < \rho_A$.

Задача 5

Для идеального газа на графике V-T (рис. 10) представлен переход из состояния 1 в состояние 4. Укажите процессы, которые последовательно проходит газ при таком переходе. Постройте графики в координатах P-V и P-T.



Дано: Газ находится в четырех состояниях, обозначенных на рис. 10 точками 1, 2, 3, 4, и совершает три перехода:
 График V-T
 P-V; P-T

Графики 1→2. Изобарное нагревание, описывается газовым законом Гей-Люссака

$$\frac{V}{T} = \text{const}; \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}.$$

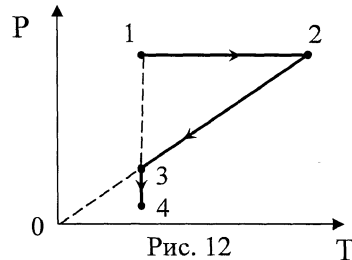
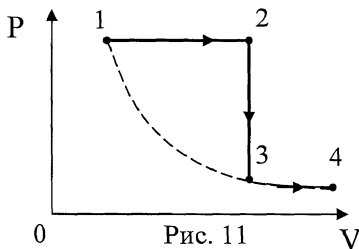
2→3 Изохорное охлаждение, описывается законом Шарля

$$\frac{P}{T} = \text{const}; \quad \frac{P_2}{T_2} = \frac{P_3}{T_3}.$$

3→4. Изотермическое расширение, описывается законом Бойля-Мариотта

$$PV = \text{const}; \quad P_3V_3 = P_4V_4.$$

Рассматриваемые переходы в координатах P-V (рис. 11) и P-T (рис. 12) имеют вид



§ 8. Задания для самостоятельной работы с выбором ответа

1. При проведении изотермического процесса с заданной массой газа объем газа увеличился в 3 раза. Как при этом изменилось давление газа?

- 1) увеличилось в 3 раза; 2) увеличилось в 9 раз;
3) уменьшилось в 3 раза; 4) уменьшилось в 9 раз.

2. Сколько атомов содержит гелий массой 4 г?

- 1) 1; 2) 1000; 3) $6 \cdot 10^{23}$; 4) $24 \cdot 10^{23}$.

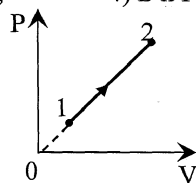
3. Ниже перечислены некоторые физические эксперименты:

- А) опыты Резерфорда по исследованию состава и строения атома;
Б) опыты Броуна по наблюдению за движением частиц цветочной пыльцы в воде;
В) опыты Иоффе и Милликена по определению значения заряда электрона;
Г) опыты по исследованию диффузии в твердых телах.

Какие из перечисленных экспериментов служат подтверждением основных положений молекулярно-кинетической теории?

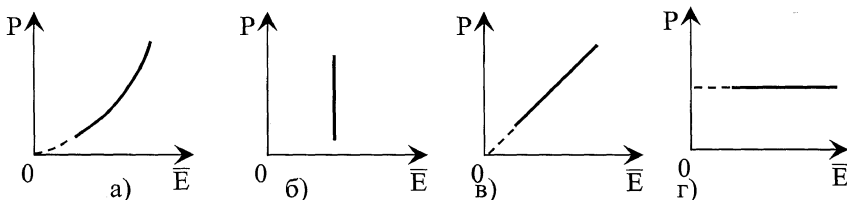
- 1) А и В; 2) только А; 3) А и Г; 4) Б и Г.

4. На рисунке приведена зависимость давления идеального газа от его объема. Как изменится (увеличивается, уменьшается) при переходе из 1 в 2 температура газа?



Ответ: _____

5. На каком из рисунков – а, б, в или г – правильно изображен график зависимости давления, оказываемого идеальным газом на стенки сосуда, от средней кинетической энергии поступательного движения его молекул?



- 1) а; 2) б; 3) в; 4) г.

6. В результате нагревания давление идеального газа при неизменной его плотности увеличилось в 4 раза. Как изменилась средняя кинетическая энергия теплового движения молекул газа?

- 1) увеличилась в 4 раза; 2) увеличилась в 2 раза;
3) увеличилась в 16 раз; 4) уменьшилась в 4 раза.

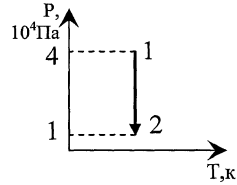
7. Что из перечисленного не характерно для броуновской частицы?

- 1) хаотичность ее движений;

- 2) зависимость скорости частицы от температуры окружающей среды;
 3) зависимость скорости частицы от ее размеров;
 4) зависимость скорости частицы от освещенности при неизменной температуре.

Ответ: _____

8. На рисунке представлен график зависимости давления от температуры гелия, занимающего объем 5 л в состоянии 1. Какой объем соответствует состоянию 2, если масса гелия не меняется?



Ответ: _____ л

9. До какой температуры при постоянном объеме нужно нагреть воздух, находящийся при 273 К, чтобы его давление утроилось?

Ответ: _____ К

10. Как изменится давление газа, если среднюю кинетическую энергию теплового движения молекул и их концентрацию уменьшить в 2 раза?

- 1) уменьшится в 4 раза; 2) увеличится в 2 раза;
 3) увеличится в 4 раза; 4) уменьшится в 2 раза.

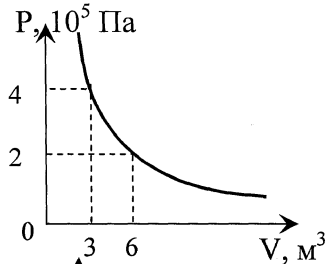
11. Давление неизменного количества идеального газа уменьшилось в 2 раза, температура газа уменьшилась в 2 раза. При этом объем газа

- 1) увеличился в 2 раза; 2) уменьшился в 2 раза;
 3) уменьшился в 4 раза; 4) не изменился.

12. Какому процессу в идеальном газе соответствует график на рисунке?

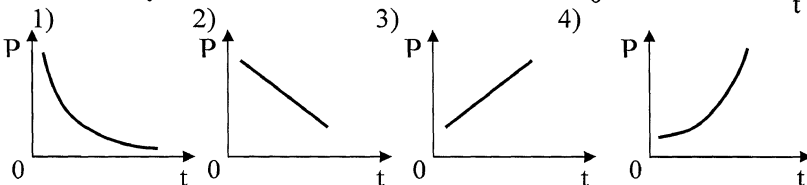
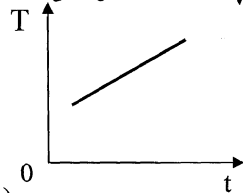
(Масса газа не изменяется)

- 1) изохорному;
 2) изобарному;
 3) изотермическому;
 4) нет правильного ответа.



Ответ: _____

13. Герметично закрытый сосуд с газом нагревают. Температура газа в сосуде растет со временем так, как показано на рисунке справа. Какой график правильно показывает зависимость давления газа в сосуде от времени? Объем сосуда считать постоянным.



14. Как изменится давление идеального газа на стенки сосуда, если при неизменной температуре концентрацию молекул увеличить в 3 раза?

- 1) не изменится;
- 2) увеличится в 3 раза;
- 3) увеличится в 9 раз;
- 4) уменьшится в 3 раза.

15. В результате охлаждения идеального газа его давление уменьшилось в 4 раза, а концентрация молекул газа не изменилась. При этом средняя кинетическая энергия теплового движения молекул газа

- 1) уменьшилась в 16 раз;
- 2) уменьшилась в 2 раза;
- 3) уменьшилась в 4 раза;
- 4) не изменилась.

16. Броуновским движением является

- 1) беспорядочное движение мелких пылинок в воздухе;
- 2) беспорядочное движение мошек, роящихся вечером под фонарем;
- 3) проникновение питательных веществ из почвы в корни растений;
- 4) растворение твердых веществ в жидкостях.

Ответ: _____

17. Броуновским движением называется

- 1) упорядоченное движение слоев жидкости (или газа);
- 2) упорядоченное движение твердых частиц вещества, взвешенных в жидкости (или газе);
- 3) перемешивание газов, жидкостей или твердых тел при непосредственном контакте;
- 4) хаотичное движение твердых частиц вещества, взвешенных в жидкости (или газе).

Ответ: _____

18. Ботаник Р. Броун, наблюдая в микроскоп за мельчайшими частями пыльцы растений в капле воды, обнаружил, что они находятся в непрерывном беспорядочном движении. Это можно объяснить

- 1) тем, что пыльца растений – часть живых организмов;
- 2) легкими колебаниями микроскопа;
- 3) ударами молекул воды;
- 4) изменением вязкости жидкости.

Ответ: _____

19. Между нейтральными молекулами вещества действуют силы

- 1) притяжения и отталкивания, причем на малых расстояниях по модулю силы притяжения больше, чем силы отталкивания;
- 2) притяжения и отталкивания, причем на малых расстояниях по модулю силы отталкивания больше, чем силы притяжения;
- 3) притяжения на любых расстояниях между молекулами;
- 4) по модулю равные нулю на любых расстояниях между молекулами.

Ответ: _____

20. Вещество, обладающее малой сжимаемостью, может находиться
 1) только в газообразном состоянии; 2) только в твердом состоянии;
 3) в твердом и жидком состояниях; 4) только в жидком состоянии.

21. Средняя кинетическая энергия теплового движения молекул идеального газа при увеличении абсолютной температуры газа в 2 раза увеличивается

Ответ: _____ раза

22. При нагревании идеального газа от температуры $t_1 = 0^\circ \text{C}$ до $t_2 = 819^\circ \text{C}$ средняя квадратичная скорость теплового движения молекул газа возросла в

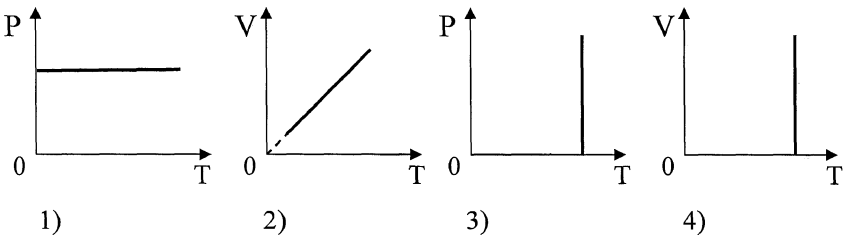
Ответ: _____ раза

23. Большая сжимаемость газов объясняется тем, что

- 1) расстояния между молекулами сравнимы с их размерами;
- 2) расстояния между молекулами во много раз больше их размеров;
- 3) расстояния между молекулами чуть больше их размеров;
- 4) молекулы газов почти не взаимодействуют между собой.

Ответ: _____

24. Изобарическому процессу соответствует график под номером



- 1) только 1; 2) только 3; 3) 1 и 2; 4) 1 и 4.

25. В процессе нагревания водорода в закрытом баллоне абсолютная температура газа увеличилась в 2 раза. Как изменилось давление?

- 1) увеличилось в 2 раза;
- 2) увеличилось в 4 раза;
- 3) уменьшилось в 2 раза;
- 4) уменьшилось в 4 раза.

26. Температура идеального газа 300 К. Концентрация молекул 10^{23} м^{-3} . Под каким давлением находится газ?

Ответ: _____ Па

27. Как изменилось давление идеального газа, если в данном объеме скорость каждой молекулы газа удвоилась, а концентрация не изменилась?

Ответ: _____ раза

§ 9. Задания для самостоятельной работы с кратким ответом

1. В сосуде содержится аргон под давлением 300 кПа. Концентрацию аргона уменьшили в 2 раза, а среднюю кинетическую энергию его молекул увеличили в 3 раза. Определите установившееся давление газа.

Ответ: _____ кПа

2. Температура гелия увеличилась от 27°C до 177°C . Во сколько раз увеличилась средняя кинетическая энергия его молекул?

Ответ: _____ раз

3. В сосуде содержится аргон, абсолютная температура которого равна 300 К. Концентрацию аргона уменьшили в 2 раза, при этом его давление увеличилось в 1,5 раза. Определите установившуюся абсолютную температуру газа.

Ответ: _____ К

4. При уменьшении абсолютной температуры на 600 К среднеквадратичная скорость теплового движения молекул неона уменьшилась в 2 раза. Какова начальная температура газа?

Ответ: _____ К

5. При увеличении абсолютной температуры на 600 К среднеквадратичная скорость теплового движения молекул гелия увеличилась в 2 раза. Какова начальная температура газа?

Ответ: _____ К

6. Сосуд с одноатомным идеальным газом сжали, увеличив концентрацию молекул газа в 5 раз. Одновременно увеличили среднюю энергию теплового движения молекул газа в 2 раза. Во сколько раз в результате этого возросло давление газа в сосуде?

Ответ: _____

7. 1 моль идеального газа изохорно нагревает на 100К, при этом его давление увеличивается в 3 раза. Какова первоначальная абсолютная температура газа?

Ответ: _____ К

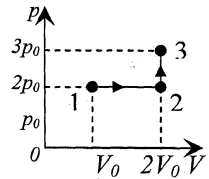
8. Объем 1 моль водорода в сосуде при температуре T и давлении p равен V_1 . Объем 4 моль водорода при том же давлении и температуре $2T$ равна V_2 . Чему равно отношение V_2/V_1 ? (водород считать идеальным газом.)

Ответ: _____

9. В ходе эксперимента давление разреженного газа в сосуде снизилось в 5 раз, а средняя энергия теплового движения его молекул увеличилась в 2 раза. Во сколько раз уменьшилась концентрация молекул газа в сосуде?

Ответ: _____ раз

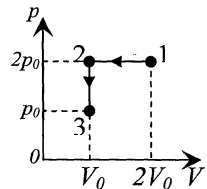
10. Идеальный газ переводят из состояния 1 в состояние 3 так, как показано на графике зависимости давления p газа от объема V . Количество вещества газа при этом не меняется. Из приведенного ниже списка выберите **два** правильных утверждения, характеризующие процессы на графике, и укажите их номера.



- 1) Абсолютная температура газа максимальна в состоянии 1
- 2) В процессе 1-2 абсолютная температура газа изобарно увеличилась в 2 раза.
- 3) В процессе 2-3 абсолютная температура газа изохорно увеличилась в 1,5 раза
- 4) Плотность газа минимальна в состоянии 1
- 5) В ходе процесса 1-2-3 среднеквадратическая скорость теплового движения молекул газа увеличивается в 6 раз.

Ответ: _____

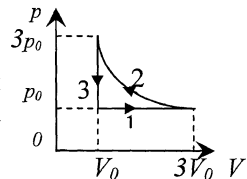
11. Идеальный газ переводят из состояния 1 в состояние 3 так, как показано на графике зависимости давления p газа от объема V . Количество вещества газа при этом не меняется. Из приведенного ниже списка выберите **два** правильных утверждения, характеризующие процессы на графике, и укажите их номера.



- 1) Абсолютная температура газа минимальна в состоянии 2
- 2) В процессе 1-2 абсолютная температура газа изобарно увеличилась в 2 раза.
- 3) В процессе 2-3 абсолютная температура газа изохорно уменьшилась в 2 раза
- 4) Концентрация газа минимальна в состоянии 1.
- 5) В ходе процесса 1-2-3 среднеквадратическая скорость теплового движения молекул газа уменьшается в 4 раза

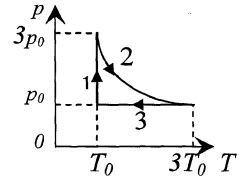
Ответ: _____

12. На pV - диаграмме отображена последовательность трех процессов(1-2-3) изменения состояния 2 моль идеального газа. Из предложенного перечня утверждений выберите два правильных и укажите их номера.



- 1) В процессе 1 газ нагревают.
- 2) Процесс 1 является изотермическим.
- 3) В процессе 3 газ совершает работу.
- 4) В процессе 2 происходит сжатие газа при постоянной температуре.
- 5) процесс 3 является изобарным.

13. На pT - диаграмме отображена последовательность трех процессов(1-2-3) изменения состояния 2 моль идеального газа. Из предложенного перечня утверждений выберите два правильных и укажите их номера.

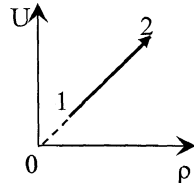


- 1) В процессе 1 газ отдает положительное количество теплоты.
- 2) Процесс 2 является изотермическим.
- 3) В процессе 3 газ совершает работу.
- 4) В процессе 2 происходит расширение газа при постоянной температуре.
- 5) В процессе 1 происходит сжатие газа при постоянной температуре.

14. Объем сосуда с идеальным газом уменьшили вдвое и добавили в сосуд такое же количество того же газа. Температура в сосуде поддерживается постоянной. Выберите два верных утверждения, описывающих этот процесс.

- 1) Давление газа в этом процессе увеличилось в 4 раза.
- 2) Внутренняя энергия газа в сосуде не изменилась.
- 3) Концентрация молекул газа в сосуде уменьшилась.
- 4) В ходе процесса газ совершил положительную работу.
- 5) Плотность газа в сосуде увеличилась.

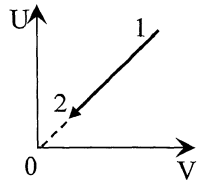
15. На рисунке показан процесс изменения состояния одного моля одноатомного идеального газа (U - внутренняя энергия газа; p - его давление). Используя данные графика, выберите из предложенного перечня два верных утверждения и укажите их номера.



- 1) Концентрация молекул газа в ходе процесса уменьшается.
- 2) Объем газа в этом процессе остается неизменным.
- 3) Плотность газа в этом процессе увеличивается.
- 4) В ходе процесса газ расширяется.
- 5) Температура газа в ходе процесса повышается.

Ответ: _____

16. На рисунке показан процесс изменения состояния одного моля одноатомного идеального газа (U - внутренняя энергия газа; V - его объем). Используя данные графика, выберите из предложенного перечня два верных утверждения и укажите их номера.



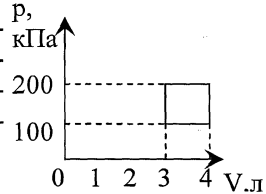
- 1) Концентрация молекул газа в ходе процесса увеличивается.
- 2) Объем газа в этом процессе остается неизменным.
- 3) Плотность газа в этом процессе уменьшается.

- 4) Давление газа в ходе процесса остается неизменным.
- 5) Температура газа в ходе процесса повышается.

17. В вертикальном сосуде с гладкими стенками под массивным подвижным поршнем находится одноатомный идеальный газ массой m при температуре T . Массу газа уменьшили в 2 раза, а температуру увеличили в 3 раза. Выберите из предложенного перечня два утверждения, которые соответствуют результатам этого процесса и укажите их номера.

- 1) Количество вещества газа в сосуде увеличилось в 1,5 раза
- 2) Давление газа в сосуде осталось неизменным
- 3) Объем газа в этом процессе уменьшился в 3 раза
- 4) Внутренняя энергия газа увеличилась в 1,5 раза по сравнению с первоначальной
- 5) Плотность газа в сосуде осталась неизменной

18. С идеальным газом происходит циклический процесс, диаграмма p - V которого представлена на рисунке. Наименьшая температура, достигаемая газом в этом процессе, составляет 360 К. Определите количество вещества этого газа. Ответ округлите до десятых.



Ответ: _____ моль

§ 10. Задания для самостоятельной работы с развернутым ответом

1. При температуре 308 К и давлении $7 \cdot 10^5$ Па плотность газа равна $12,2 \text{ кг/м}^3$. Определите молярную массу газа.

2. Сосуд содержит смесь газов, состоящую на 20% массы из гелия и на 80% из кислорода. Определить плотность смеси и концентрацию молекул гелия и молекул кислорода. Температура газа 27°C , давление 1 атм.

3. Определить плотность смеси, состоящей из 4 г гелия и 32 г кислорода, при температуре 7°C и давлении 760 мм. рт. ст. Определить полное число молекул.

4. Параметры начального состояния газа P_1, V_1, T_1 . Газ изохорно нагревается до температуры T_2 , затем изобарически сжимается до T_1 , после чего сжимается изотермически. Для каждого процесса запишите газовый закон и нарисуйте график данного перехода в координатах P - V , P - T и V - T .

5. Два сосуда соединены трубкой с краном. В первом сосуде находится $m_1 = 2 \text{ кг}$ азота под давлением $P = 4 \cdot 10^5 \text{ Па}$, а во втором $m = 3 \text{ кг}$ того же газа под давлением $P = 9 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Какое установится давление в сосудах после открытия крана, если температура оставалась неизменной?

6. Газ находится под давлением $P_1 = 2 \cdot 10^5$ Па при температуре $t_1 = 27^\circ\text{C}$. Вследствие изобарного расширения объем газа увеличивается в три раза. Далее газ изотермически сжимают до первоначального объема, затем изохорически нагревают до $T_4 = 2T_3$. Определите конечное давление и температуру газа. Изобразите данные процессы в координатах P-V, P-T, V-T.

7. При увеличении абсолютной температуры идеального газа в 2 раза давление его увеличилось на 25%. Во сколько раз изменился объем газа?

8. Два состояния одной и той же массы идеального газа показаны на диаграмме V-T (рис. 13) точками А и В. Сравните давления газа в этих состояниях.

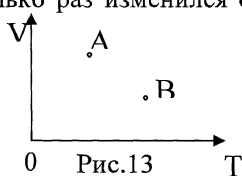


Рис.13

9. На диаграмме P-V (рис. 14) изображен график кругового процесса. Изобразите график этого кругового процесса в координатах P-T и V-T. Кривая 1-2 представляет изотерму.

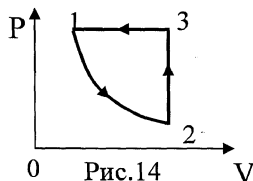


Рис.14

10. На диаграмме P-V (рис. 15) изображен график кругового процесса. Изобразите график этого кругового процесса в координатах P-T и V-T.

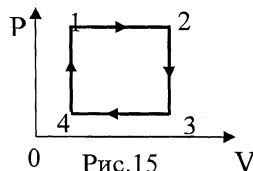


Рис.15

11. Со дна озера поднимается воздушный пузырек на поверхность. Какова глубина озера, если объем пузырька увеличится вдвое? $T = \text{const}$.

12. В узкой, запаянной с одного конца стеклянной трубке, находится воздух, отделенный от наружного конца трубки столбиком ртути длиной 2 см. Когда трубка расположена вертикально открытым концом вниз, длина воздушного столбика 0,39 м; когда же трубка расположена вертикально открытым концом вверх, длина столбика воздуха 0,37 м. Определить атмосферное давление.

13. Открытая стеклянная трубка длиной 40 см наполовину погружена в ртуть. Когда верхний конец трубки закрыли и подняли ее нижний конец до уровня ртути в сосуде, то в трубке остался столбик ртути высотой 15 см. Каково атмосферное давление во время опыта?

14. Резиновый шар содержит 2 л воздуха при температуре 20°C . Каков будет объем воздуха, если шар опустить на глубину 10 м в воду с температурой 4°C ? Атмосферное давление $1,1 \cdot 10^5$ Па.

15. Объем воздушного шара 224 м^3 , масса оболочки 145 кг. Шар наполнен горячим воздухом при нормальном атмосферном давлении. Какую

температуру должен иметь воздух внутри оболочки, чтобы шар начал подниматься? Температура наружного воздуха 0°C .

16. Польный шар емкостью 10 л с жесткой тонкостенной оболочкой массой 11 г наполнен водородом. Температура водорода и окружающего воздуха 0°C . Атмосферное давление $1 \cdot 10^5$ Па. Найдите давление водорода, если шар свободно плавает в воздухе.

17. В баллоне находится газ под давлением 2,9 МПа при температуре 5°C . После того как из баллона удалили половину молекул, его перенесли в помещение с другой температурой. Чему равна конечная температура газа, если давление в баллоне уменьшилось на 1,3 МПа.

18. Сосуд объемом 15 л содержит смесь водорода и гелия общей массой 2 г при температуре 27°C . Отношение массы водорода к массе гелия в смеси равно 1,5. Каково давление газовой смеси в сосуде?

ГЛАВА VI

ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

§ 1. Внутренняя энергия

Под внутренней энергией системы U понимают сумму кинетической энергии всех его микрочастиц (молекул, атомов, электронов, ядер и т.д.) и потенциальной энергии их взаимодействия.

Внутренняя энергия является однозначной функцией состояния системы, то есть в каждом определенном состоянии система обладает вполне определенной

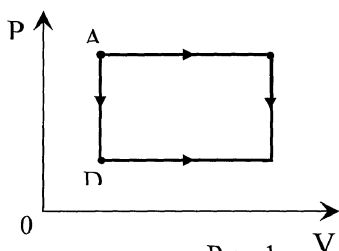


Рис. 1

внутренней энергией независимо от того, как это состояние было получено. Например, если система перешла из состояния А в состояние В (рис. 1) один раз по пути А–D–В, а другой раз по пути А–С–В, то изменение внутренней энергии в обоих случаях будет одним и тем же.

$$\Delta U_{ACB} = \Delta U_{ADB} = U_B - U_A.$$

В идеальном газе взаимная потенциальная энергия молекул равна нулю, так как молекулы между собой не взаимодействуют на расстоянии. Поэтому внутренняя энергия одноатомного идеального газа равна суммарной кинетической энергии поступательного движения всех его молекул:

$$U = N \langle E_k \rangle. \quad (1)$$

Число молекул равно произведению числа молей газа на число Авогадро:

$$N = \frac{m}{\mu} N_A. \quad (2)$$

Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы

$$\langle E_k \rangle = \frac{3}{2} kT. \quad (3)$$

Подставляя (1) и (2) в формулу (3) и учитывая, что универсальная газовая постоянная $R = kN_A$, окончательно получаем

$$U = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} RT . \quad (4)$$

Уравнение (4) позволяет рассчитать внутреннюю энергию одноатомного идеального газа. В случае двухатомной молекулы необходимо еще учитывать вращательное движение молекул. Поэтому внутренняя энергия будет больше и определяется по формуле

$$U = \frac{5}{2} \frac{m}{\mu} RT . \quad (5)$$

Для заданной массы газа изменение внутренней энергии происходит только при изменении его температуры. Изменения внутренней энергии для одноатомного и двухатомного газа соответственно равны

$$\Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} R \Delta T . \quad (6)$$

$$\Delta U = \frac{5}{2} \frac{m}{\mu} R \Delta T . \quad (7)$$

§ 2. Количество теплоты. Уравнение теплового баланса

Процесс передачи энергии от одного тела к другому без совершения работы называется теплообменом или теплопередачей. Энергия, переданная телу в результате теплообмена, называется количеством теплоты Q .

Удельная теплоемкость c вещества – величина, равная количеству теплоты, необходимому для нагревания 1 кг вещества на 1 К:

$$c = \frac{Q}{m \Delta T} . \quad (8)$$

Единица удельной теплоемкости в СИ – джоуль на килограмм-кельвин:

$$\text{СИ} \quad [c] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} .$$

Из формулы (8) следует, что если нагревается вещество массой m от температуры T_1 до температуры T_2 , ему необходимо сообщить количество теплоты

$$Q_{\text{нагр}} = cm\Delta T = cm(T_2 - T_1). \quad (9)$$

или

$$Q_{\text{нагр}} = cm(t_2 - t_1). \quad (10)$$

При охлаждении данного вещества от температуры t_2 до t_1 выделяется такое же количество теплоты

$$Q_{\text{охл}} = cm(t_2 - t_1). \quad (11)$$

Удельная теплота парообразования γ – это величина, равная количеству теплоты, которое необходимо сообщить при постоянной температуре 1 кг жидкости, чтобы перевести ее в пар той же температуры:

$$\gamma = \frac{Q}{m}. \quad (12)$$

$$\text{СИ } [\gamma] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

Из формулы (12) следует, что для превращения при постоянной температуре жидкости массой m в пар ей необходимо сообщить количество теплоты

$$Q_{\text{парообр.}} = \gamma \cdot m. \quad (13)$$

При конденсации данного пара при той же температуре выделяется такое же количество теплоты

$$Q_{\text{конд}} = \gamma \cdot m. \quad (14)$$

Удельная теплота плавления λ вещества – это количество теплоты, которое необходимо при температуре плавления сообщить 1 кг кристаллического вещества, чтобы перевести его в жидкость той же температуры:

$$\lambda = \frac{Q}{m} . \quad (15)$$

$$\text{СИ } [\lambda] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} .$$

Из формулы (15) следует, что для превращения при температуре плавления кристаллического вещества массой m в жидкость ему необходимо сообщить количество теплоты

$$Q_{\text{плавл}} = \lambda m . \quad (16)$$

При кристаллизации данной жидкости выделяется такое же количество теплоты

$$Q_{\text{крист}} = \lambda m . \quad (17)$$

Пусть имеется система тел с различной начальной температурой. Если теплообмен происходит только между телами данной системы, то такая система называется замкнутой. В результате теплообмена в замкнутой системе наступит тепловое равновесие, при котором тела системы будут иметь одинаковую конечную температуру θ , называемую равновесной температурой.

Если $Q_{\text{получ.}}$ – количество теплоты, полученное телами системы при теплообмене, а $Q_{\text{отд.}}$ – количество отданной теплоты, то для замкнутой системы справедливо равенство

$$Q_{\text{получ.}} = Q_{\text{отд.}} \quad (18)$$

Уравнение (18) носит название уравнения теплового баланса.

Удельная теплота сгорания q топлива – это величина, равная количеству теплоты, которое выделяется при полном сгорании 1 кг топлива:

$$q = \frac{Q}{m} . \quad (19)$$

$$\text{СИ } [q] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} .$$

Из формулы (19) следует, что при полном сгорании топлива массой m выделяется количество теплоты

$$Q_{\text{сгор.}} = q \cdot m \quad (20)$$

Величины – c , r , λ и q – табличные.

§ 3. Теплопередача

Различают три вида теплопередачи: теплопроводность, конвекция и излучение. **Теплопроводность** имеет место при непосредственном соприкосновении тел. Различные вещества имеют разную теплопроводность. Большую теплопроводность имеют металлы, особенно серебро и медь. У жидкостей, за исключением расплавленных металлов, теплопроводность невелика. У газов теплопроводность еще меньше.

В жидкостях и газах, кроме теплопроводности, теплопередача осуществляется **конвекцией**, т.е. механическим перемещением нагретых частей. При соприкосновении жидкости или газа с твердыми стенками, имеющими более высокую или более низкую температуру, в жидкости (газе) возникают течения: нагретая жидкость (или газ) поднимается вверх, а охлаждающаяся опускается вниз. Этот процесс происходит вследствие уменьшения плотности жидкости или газа при увеличении их температуры. Конвекционные течения жидкостей и газов широко используют в технике (водяное отопление помещений).

Тепловым излучением называют электромагнитное излучение нагретого тела. С увеличением температуры тела энергия, излучаемая этим телом, возрастает. Передача энергии излучением может осуществляться и в вакууме. Солнечная энергия передается на Землю излучением через космическое пространство, которое представляет собой вакуум.

§ 4. Работа газа

Пусть в цилиндре под поршнем площадью S находится идеальный газ, имеющий температуру T_1 , объем V_1 и давление P (рис. 2 а). Будем нагревать газ от температуры T_1 до температуры T_2 при постоянном давлении. Расширяясь, газ поднимет поршень на высоту Δh и займет объем V_2 (рис. 2 б).

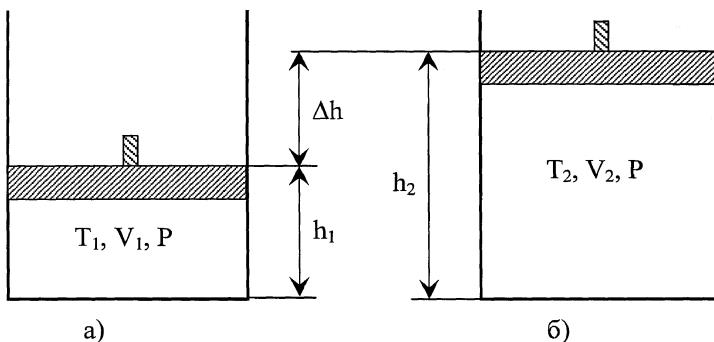


Рис. 2

Если F – модуль силы, с которой газ действовал на поршень, то работа газа

$$A = F\Delta h . \quad (21)$$

Из рис. 2 видно, что

$$\Delta h = h_2 - h_1 \quad (22)$$

а согласно определению давления

$$F = P \cdot S . \quad (23)$$

Подставляя (22) и (23) в формулу (21), получаем

$$A = P \cdot S(h_2 - h_1) = P \cdot Sh_2 - P \cdot Sh_1 . \quad (24)$$

Так как $V_2 = Sh_2$, а $V_1 = Sh_1$, то окончательно формуле (24) можно придать вид

$$A = P(V_2 - V_1) = P\Delta V . \quad (25)$$

Уравнение (25) позволяет рассчитать работу газа при постоянном давлении.

Из формулы (25) следует, что, если работу совершает газ, то $V_2 > V_1$ ($\Delta V > 0$), поэтому работа газа положительная ($A > 0$). Если работу совершают над газом, то $V_2 < V_1$ ($\Delta V < 0$), поэтому работа газа отрицательная ($A < 0$).

Изобразим рассмотренный процесс графически в координатах P - V (рис. 3).

Согласно (3) работа газа численно равна площади заштрихованного прямоугольника.

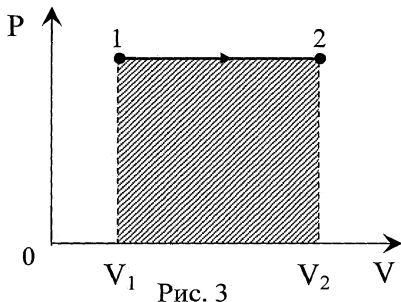


Рис. 3

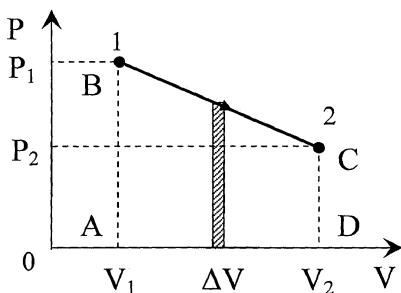


Рис. 4

В общем случае давление газа может не оставаться постоянным. Пусть давление в зависимости от объема при переходе газа из состояния 1 в состояние 2 меняется следующим образом (рис. 4). Представим изменение объема газа от V_1

до V_2 в виде суммы бесконечно малых изменений объема ΔV , в пределах которых давление можно считать постоянным. Поэтому элементарная работа газа (бесконечно малое количество работы) $\delta A = P \cdot \Delta V$, то есть численно равна площади заштрихованного прямоугольника. Следовательно, полная работа A , совершаемая газом при расширении его от объема V_1 до объема V_2 , равна сумме элементарных работ

$$A = \sum \delta A,$$

то есть численно равна площади трапеции ABCD:

$$A = \frac{P_1 + P_2}{2} (V_2 - V_1). \quad (26)$$

При изохорном процессе ($V = \text{const}$) изменение объема $\Delta V = 0$. Поэтому согласно (25) работа газа при изохорном процессе равна нулю ($A = 0$).

§ 5. Первый закон термодинамики

Физическим содержанием первого закона термодинамики является закон сохранения и превращения энергии. Многовековыми опытами установлено, что количество теплоты Q , сообщенной системе, расходуется на увеличение ее внутренней энергии ΔU и на совершение системой работы A против внешних сил:

$$Q = \Delta U + A \quad (27)$$

Формула (27) представляет *математическую запись первого закона термодинамики*.

При совершении системой кругового процесса (цикла), то есть когда система возвращается в исходное состояние, $U_2 = U_1$. Здесь U_1 – внутренняя энергия системы в первом состоянии; U_2 – во втором состоянии. Поэтому для кругового процесса можно записать

$$\Delta U = U_2 - U_1 = 0 \quad (28)$$

С учетом (28) математическая запись первого закона термодинамики для кругового процесса примет вид

$$Q = A \quad (29)$$

Выражение (29) утверждает, что нельзя построить периодически действующий двигатель, который совершал бы большую работу, чем сообщенная извне теплота, то есть вечный двигатель первого рода невозможен.

Теплота положительная ($Q > 0$), если она сообщается системе (система получает теплоту), и теплота отрицательная ($Q < 0$), если она выделяется системой (система отдает теплоту).

§ 6. Применение первого закона термодинамики к изопроцессам

Пусть система представляет собой одноатомный идеальный газ.

1. *Изохорный процесс* ($V = \text{const}$).

Так как при изохорном процессе работа газа равна нулю, то согласно первому закону термодинамики вся подводимая к газу теплота идет на увеличение его внутренней энергии:

$$Q = \Delta U.$$

2. *Изобарный процесс* ($P = \text{const}$).

Работа газа при изобарном процессе

$$A = P\Delta V.$$

Следовательно, первый закон термодинамики примет вид

$$Q = \Delta U + P\Delta V.$$

3. *Изотермический процесс* ($T = \text{const}$).

Изменение внутренней энергии газа

$$\Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} R \Delta T . \quad (30)$$

Так как при $T = \text{const}$ величина $\Delta T = 0$, то согласно (30) $\Delta U = 0$. Тогда по первому закону термодинамики вся подводимая к газу теплота расходуется на работу расширения газа:

$$Q = A .$$

4. Адиабатный процесс.

Адиабатным процессом называется процесс, протекающий без теплообмена между системой и окружающей средой. Поэтому количество теплоты, сообщенной газу, $Q = 0$, и первый закон термодинамики примет вид

$$0 = \Delta U + A \Rightarrow A = -\Delta U . \quad (31)$$

Изменение внутренней энергии газа

$$\Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} R \Delta T = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} R (T_2 - T_1) . \quad (32)$$

Решая (31) и (32), получаем выражение для работы газа:

$$A = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} R (T_1 - T_2) . \quad (33)$$

Если газ расширяется, то работа газа $A > 0$ и, следовательно, согласно (33)

$(T_1 - T_2) > 0 \Rightarrow T_1 > T_2$, то есть происходит понижение температуры. Таким образом, при адиабатном процессе расширение газа сопровождается понижением температуры. График адиабатного процесса в координатах P - V представляет гиперболу (рис. 5).

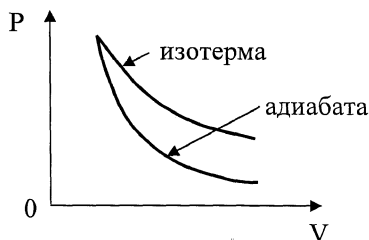


Рис. 5

§ 7. Принцип работы тепловой машины

Тепловой двигатель – это устройство, превращающее внутреннюю энергию топлива в механическую энергию.

Тепловая машина работает циклически, по круговому процессу. В работе тепловой машины участвуют три тела: 1) нагреватель, который служит источником тепла; 2) рабочее вещество, которое превращает тепло в работу; 3) холодильник, который поглощает тепло, не превратившееся в работу.

Схема теплового двигателя приведена на рис. 6. Рабочее вещество получает от нагревателя количество тепла Q_1 , совершает работу A и отдает холодильнику количество теплоты Q_2 . Причем $|Q_2| < Q_1$.

Согласно закону сохранения энергии работа, совершенная двигателем,

$$A = Q_1 - |Q_2|. \quad (34)$$

Под коэффициентом полезного действия теплового двигателя понимают отношение работы, совершенной двигателем, к количеству теплоты Q_1 , полученному им от нагревателя:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - |Q_2|}{Q_1}. \quad (35)$$

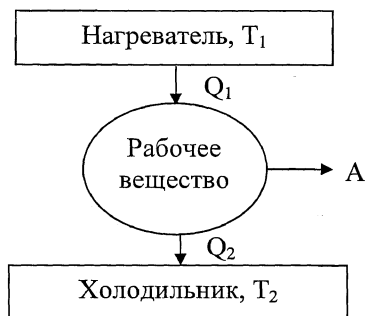


Рис. 6

Идеальная тепловая машина с идеальным газом в качестве рабочего вещества имеет максимальный КПД:

$$\eta_{\max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}. \quad (36)$$

Здесь T_1 – температура нагревателя; T_2 – температура холодильника.

Согласно опыту для любой тепловой машины $Q_2 \neq 0$. Следовательно, как видно из формулы (34), $A < Q_1$. Отсюда вытекает *формулировка второго закона термодинамики*: невозможен круговой процесс, единственным результатом которого является превращение всей теплоты, полученной от нагревателя, в эквивалентную работу, то есть вечный двигатель II рода невозможен.

§ 8. Насыщенный пар. Влажность воздуха

При любой температуре с поверхности жидкости вылетают молекулы и переходят в пар. Этот процесс называется испарением. С поверхности жидкости вылетают молекулы, которые обладают повышенной скоростью, а следовательно, и повышенной кинетической энергией. Поэтому *испарение сопровождается понижением температуры жидкости*.

Хаотически движущиеся молекулы пара, подлетая к поверхности жидкости, могут попасть в сферу действия сил притяжения ее молекул и перейти в жидкость. Этот процесс называется конденсацией. *Конденсация сопровождается повышением температуры жидкости*, так как влетающие в нее молекулы обладают повышенной кинетической энергией.

Если число молекул, покидающих жидкость за 1 секунду, равно числу молекул, возвращающихся в жидкость за это же время, то наступает динамическое равновесие. *Пар, находящийся в равновесии с жидкостью, называется насыщенным (насыщающим)*. Согласно опыту состояние насыщенного пара приближенно описывается уравнением Менделеева-Клапейрона

$$pV = \frac{m}{\mu} RT.$$

Давление (упругость) насыщенного пара P_n в закрытом сосуде ($V = \text{const}$) возрастает с повышением температуры (рис. 7). Для заданной жидкости P_n и плотность насыщенного пара ρ_n не зависят от объема, а зависят только от температуры. Так как приближенно выполняется равенство

$$P_n = nkT,$$

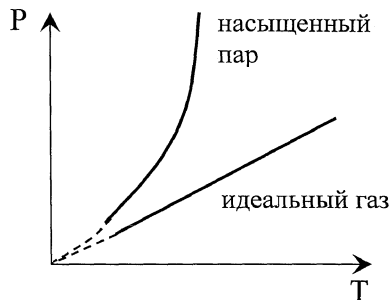


Рис. 7

из которого видно, что P_n прямо пропорциональна не только температуре T , но и концентрации молекул n насыщенного пара. Поэтому зависимость P_n от T имеет вид параболы.

Если упругость насыщенного пара P_n станет равной или больше внешнего давления, например атмосферного P_0 , ($P_n \geq P_0$), то испарение будет происходить не только с поверхности жидкости, но и в объеме жидкости. Внутри жидкости начинают возникать пузырьки пара, всплывающие на поверхность и разрывающиеся над ней. Этот процесс называется кипением. Кипение происходит при постоянной температуре, называе-

мой температурой (точкой) кипения. **Чем выше внешнее давление, тем выше температура кипения. И наоборот.**

Атмосферный воздух представляет собой смесь различных газов и водяного пара. Если P – парциальное давление водяного пара, содержащегося в воздухе при данной температуре, а P_H – давление насыщенного пара при той же температуре, то **относительной влажностью воздуха называется величина**

$$\varphi = \frac{P}{P_H} \cdot 100\%$$

Аналогичное соотношение имеет место и для плотностей

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_H} \cdot 100\%$$

Величину ρ называют также абсолютной влажностью воздуха. Величины P_H и ρ_H табличные.

Так как давление насыщенного пара тем меньше, чем ниже температура, то при охлаждении воздуха находящийся в нем водяной пар при некоторой температуре T_p становится насыщенным (рис. 8). Температура T_p называется точкой росы.

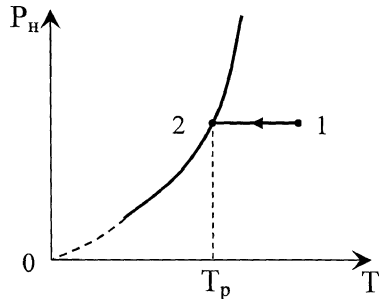


Рис. 8

§ 9. Примеры решения задач

Задача 1

Для изобарного нагревания идеального одноатомного газа ему сообщено количество тепла 10 МДж. Определите работу газа и приращение его внутренней энергии.

Дано:	СИ	Изобразим рассматриваемый процесс графически в координатах P - T (рис. 9). Работа газа при изобарном процессе определяется по формуле
$P = \text{const}$ $Q = 10 \text{ МДж}$	$10 \cdot 10^6 \text{ Дж}$	
$A - ?; \Delta U - ?$		

$$A = P(V_2 - V_1). \quad (37)$$

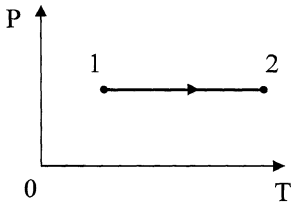


Рис. 9

и для второго

В условиях задачи газ находится в двух состояниях. Следовательно, уравнение Менделеева-Клапейрона можно записать дважды: для первого состояния

$$PV_1 = \frac{m}{\mu}RT_1 \quad (38)$$

$$PV_2 = \frac{m}{\mu}RT_2. \quad (39)$$

Вычитая (38) из формулы (39), получаем

$$P(V_2 - V_1) = \frac{m}{\mu}R(T_2 - T_1). \quad (40)$$

Из сравнения (37) и (40) видно, что работу газа при изобарном процессе можно записать как

$$A = \frac{m}{\mu}R(T_2 - T_1). \quad (41)$$

Изменение внутренней энергии одноатомного газа

$$\Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu}R(T_2 - T_1). \quad (42)$$

$$\left. \begin{array}{l} (41) \\ (42) \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta U = \frac{3}{2}A. \quad (43)$$

Запишем первый закон термодинамики и учтем соотношение (43):

$$Q = \Delta U + A = \frac{3}{2}A + A = \frac{5}{2}A \quad \Rightarrow$$

$$A = \frac{2}{5}Q = \frac{2 \cdot 10 \cdot 10^6}{5} = 4 \cdot 10^6 \text{ Дж.}$$

Изменение внутренней энергии газа

$$\Delta U = Q - A = 10 \cdot 10^6 - 4 \cdot 10^6 = 6 \cdot 10^6 \text{ Дж.}$$

Ответ: работа газа $A = 4 \cdot 10^6$ Дж, приращение внутренней энергии газа $\Delta U = 6 \cdot 10^6$ Дж.

Задача 2

Гелий массой 9 г изобарически нагрет от 200 К до 400 К, затем изохорически до 500 К. Построить график процесса в координатах P-V, определить работу, совершенную газом, полученную им теплоту и изменение внутренней энергии.

Дано:	СИ
$\mu = 4 \cdot 10^{-3}$ кг/моль	
$m = 200$ г	0,2 кг
$T_1 = 200$ К	
$T_2 = 400$ К	
$T_3 = 500$ К	
$P_1 = P_2$	
$V_2 = V_3$	
<hr/>	
A; Q; ΔU - ?	

Гелий в условиях задачи будем считать идеальным газом. Изобразим состояния газа и совершенные им переходы на графике P-V (рис. 10). Изменение внутренней энергии гелия при переходе его из состояния 1 в состояние 3

$$\Delta U_{1-3} = U_3 - U_1 = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} RT_3 - \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} RT_1$$

Вынося общий множитель $\frac{3}{2} \frac{m}{\mu} R$ за скобки, получаем

$$\Delta U_{1-3} = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} R (T_3 - T_1).$$

Подставим числовые значения и проведем расчет

$$\begin{aligned} \Delta U_{1-3} &= \frac{3}{2} \frac{0,2}{4 \cdot 10^{-3}} 8,3(500 - 200) \\ &= 1,86 \cdot 10^5 \text{ Дж.} \end{aligned}$$

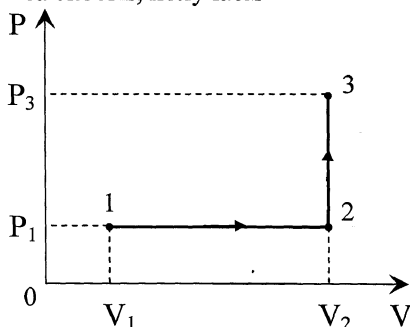


Рис.10

Работа газа равна сумме работ на участках 1-2 и 2-3:

$$A_{1-3} = A_{1-2} + A_{2-3}. \quad (44)$$

$$A_{2-3} = 0 \quad (45)$$

так как процесс 2-3 изохорный

$$A_{1-2} = P_1(V_2 - V_1). \quad (46)$$

Запишем уравнение Клапейрона-Менделеева для состояний 1 и 2 и из одного уравнения вычтем другое:

$$P_1(V_2 - V_1) = \frac{m}{\mu} R(T_2 - T_1). \quad (47)$$

Подставим (47) в уравнение (46):

$$A_{1-2} = \frac{m}{\mu} R(T_2 - T_1). \quad (48)$$

С учетом выражений (45) и (48) формула (44) примет вид

$$A_{1-3} = \frac{m}{\mu} R(T_2 - T_1).$$

Подставим числовые значения и вычислим:

$$A_{1-3} = \frac{0,2}{4 \cdot 10^{-3}} 8,3(400 - 200) = 8,3 \cdot 10^4 \text{ Дж.}$$

Теплоту, полученную газом, можно найти по первому закону термодинамики

$$Q_{1-3} = \Delta U_{1-3} + A_{1-3}.$$

Проведем вычисления:

$$Q_{1-3} = 1,86 \cdot 10^5 + 8,3 \cdot 10^4 = 2,69 \cdot 10^5 \text{ Дж.}$$

Ответ: работа, совершенная газом, $A = 8,3 \cdot 10^4$ Дж; изменение внутренней энергии гелия $\Delta U = 1,86 \cdot 10^5$ Дж; полученная им теплота $Q = 2,69 \cdot 10^5$ Дж.

Задача 3

Параметры начального состояния одноатомного идеального газа P_1, V_1, T_1 . Газ изотермически расширяется до объема V_2 , затем нагревается изохорически до температуры T_3 , причем $P_3 > P_1$. Затем изобарически переходит в состояние с объемом V_1 . Нарисуйте график данного перехода в координатах P-T. Для каждого процесса запишите газовый закон и первый закон термодинамики. Укажите, в каких процессах тепло поглощается, а в каких выделяется.

Дано:

$$T_1 = T_2, V_2 > V_1$$

$$V_2 = V_3, T_3 > T_2$$

$$P_3 > P_1$$

$$P_3 = P_4$$

$$V_4 = V_1$$

График P-T

Газ находится в четырех состояниях и совершает три перехода:

1→2. Изотермическое расширение, описывается законом Бойля-Мариотта

$$PV = \text{const} \quad \text{или} \quad P_1 V_1 = P_2 V_2.$$

Первый закон термодинамики имеет вид

$$Q = A. \quad (49)$$

Так как объем газа возрастает, то работу совершает газ и, следовательно, $A > 0$. Отсюда следует, что теплота поглощается газом. 2→3. Изохорное нагревание, описывается законом Шарля

$$\frac{P}{T} = \text{const} \quad \text{или} \quad \frac{P_2}{T_2} = \frac{P_3}{T_3}.$$

Первый закон термодинамики имеет вид

$$Q = \Delta U. \quad (50)$$

Так как $T_3 > T_2$, то согласно формуле $\Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} R(T_3 - T_2)$ приращение

внутренней энергии $\Delta U > 0$. Тогда, как следует из (50), $Q > 0$. Следовательно, теплота поглощается газом.

3→4. Изобарное охлаждение, описывается законом Гей-Люссака

$$\frac{V}{T} = \text{const} \quad \text{или} \quad \frac{V_3}{T_3} = \frac{V_4}{T_4}.$$

Первый закон термодинамики имеет вид

$$Q = \Delta U + P\Delta V. \quad (51)$$

Так как происходит охлаждение, то $\Delta T < 0$, а следовательно, $\Delta U < 0$. Согласно закону Гей-Люссака понижение температуры при постоянном давлении сопровождается уменьшением объема ($\Delta V < 0$). Учитывая сказанное, согласно (51) $Q < 0$. Таким образом, теплота выделяется газом.

Рассмотренные процессы изображены графически в координатах P-T на рис. 11.

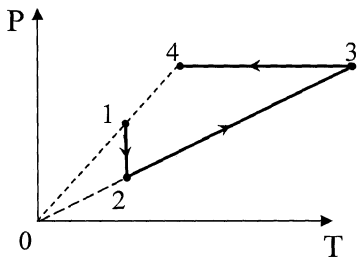


Рис. 11

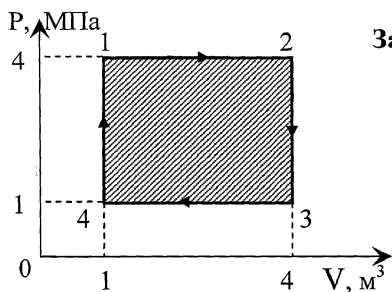


Рис. 12

Задача 4

Одноатомный идеальный газ совершает цикл, график которого изображен на рис. 12. Определить теплоту, полученную от нагревателя; теплоту, переданную холодильнику; работу газа; КПД цикла.

Дано:

$$P_1 = 4 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$V_1 = 1 \text{ м}^3$$

$$P_2 = 4 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$V_2 = 4 \text{ м}^3$$

$$P_3 = 1 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$V_3 = 4 \text{ м}^3$$

$$P_4 = 1 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$V_4 = 1 \text{ м}^3$$

$$Q_1, Q_2, A, \eta$$

КПД цикла определяется выражением

$$\eta = \frac{Q_1 - |Q_2|}{Q_1}.$$

Здесь Q_1 – количество теплоты, полученного газом за цикл от нагревателя; Q_2 – количество теплоты, отданное за цикл холодильнику.

Газ получает количество теплоты Q_1 на двух участках: Q_{1-2} на участке 1-2 и Q_{4-1} на участке 4-1:

$$Q_1 = Q_{1-2} + Q_{4-1}. \quad (52)$$

$$Q_{1-2} = \Delta U_{1-2} + A_{1-2} = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} R(T_2 - T_1) + P_1(V_2 - V_1). \quad (53)$$

Используя уравнение Менделеева-Клапейрона, выражение $\frac{m}{\mu} R(T_2 - T_1)$ можно заменить через $P_1(V_2 - V_1)$. Тогда (53) примет вид

$$Q_{1-2} = \frac{5}{2} P_1(V_2 - V_1). \quad (54)$$

Количество теплоты, полученное газом при изохорическом процессе 4-1,

$$Q_{4-1} = \Delta U_{4-1} + A_{\underbrace{4-1}_{=0}} = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} R(T_1 - T_4) = \frac{3}{2} V_1(P_1 - P_4). \quad (55)$$

Подставляя (54) и (55) в формулу (52), получаем

$$Q_1 = \frac{5}{2} P_1(V_2 - V_1) + \frac{3}{2} V_1(P_1 - P_4).$$

Произведем вычисления:

$$Q_1 = \frac{5}{2} 4 \cdot 10^6 (4 - 1) + \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot (4 - 1) \cdot 10^6 = 34,5 \cdot 10^6 \text{ Дж.}$$

Газ отдает количество теплоты Q_2 на двух участках: Q_{2-3} на участке 2-3 и Q_{3-4} на участке 3-4:

$$Q_2 = Q_{2-3} + Q_{3-4}. \quad (56)$$

Используя первый закон термодинамики и уравнение Менделеева-Клапейрона, получаем

$$Q_{2-3} = \Delta U_{2-3} + A_{\underbrace{2-3}_{=0}} = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} R(T_3 - T_2) = \frac{3}{2} V_2(P_3 - P_2) \quad (57)$$

$$Q_{3-4} = \Delta U_{3-4} + A_{3-4} = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} R(T_4 - T_3) + P_3(V_4 - V_3) =$$

$$\frac{3}{2}P_3(V_4 - V_3) + P_3(V_4 - V_3) = \frac{5}{2}P_3(V_4 - V_3). \quad (58)$$

Подставив (58) и (57) в уравнение (56) и произведя вычисления, найдем

$$\begin{aligned} Q_2 &= \frac{3}{2}V_2(P_3 - P_2) + \frac{5}{2}P_3(V_4 - V_3) = \\ &= \frac{3}{2}4(1-4) \cdot 10^6 + \frac{5}{2} \cdot 10^6(1-4) = -25,5 \cdot 10^6 \text{ Дж.} \end{aligned}$$

КПД любого цикла определяется выражением

$$\eta = \frac{Q_1 - |Q_2|}{Q_1} \cdot 100\%. \quad (59)$$

Подставим найденные значения Q_1 и Q_2 в формулу (59):

$$\eta = \frac{(34,5 - 25,5) \cdot 10^6}{34,5 \cdot 10^6} \cdot 100\% = 26\%.$$

Работу газа можно найти двумя способами:

1) $A = Q_1 - |Q_2| = 34,5 \cdot 10^6 - 22,5 \cdot 10^6 = 9 \cdot 10^6$ Дж; 2) на графике P-V (рис. 12) работа газа численно равна заштрихованной площади:

$$A = (P_1 - P_4)(V_2 - V_1) = (4 \cdot 10^6 - 10^6)(4 - 1) = 9 \cdot 10^6 \text{ Дж.}$$

Как видно, работа газа в обоих случаях получилась одинаковой.

Ответ: количество теплоты, полученное от нагревателя, $Q_1 = 3,45 \cdot 10^7$ Дж; количество теплоты, отданное холодильнику, $Q_2 = -2,55 \cdot 10^7$ Дж; работа газа за цикл

$A = 9 \cdot 10^6$ Дж; КПД цикла $\eta = 26\%$.

Задача 5

На лед массой m_1 взятый при температуре $t_1 < 0^\circ\text{C}$, воздействовали водяным паром массой m_2 при температуре $t_2 = 100^\circ\text{C}$. В результате полу-

чили воду при температуре θ ($0^{\circ}\text{C} < \theta < 100^{\circ}\text{C}$). Нарисуйте диаграмму теплообмена в координатах t^0 - Q . Запишите уравнение теплового баланса.

Дано:

m_1 – масса льда

t_1 – температура льда

$t_1 < 0^{\circ}\text{C}$

m_2 – масса пара

t_2 – температура пара

$t_2 = 100^{\circ}\text{C}$

θ – равновесная температура

$0^{\circ}\text{C} < \theta < 100^{\circ}\text{C}$

График $t^0 - Q$;
уравнение теплового
баланса

В условиях задачи теплообмен происходит между льдом и паром. Поэтому данная система тел является замкнутой. Запишем для нее уравнение теплового баланса:

$$Q_{\text{отд.}} = Q_{\text{получ.}}, \quad (60)$$

где $Q_{\text{отд.}}$ – количество теплоты, отданное при конденсации пара и охлаждении образовавшейся воды от температуры t_2 до θ :

$$Q_{\text{отд.}} = r \cdot m_2 + c_{\text{в}} m_2 (t_2 - \theta); \quad (61)$$

$Q_{\text{получ.}}$ – количество теплоты, полученное при нагревании льда от температуры t_1 до 0°C , плавлении льда при 0°C и нагревании образовавшейся воды от 0°C до θ :

$$Q_{\text{получ.}} = c_{\text{л}} m_1 (0 - t_1) + \lambda m_1 + c_{\text{в}} m_1 (\theta - 0). \quad (62)$$

Подставляя (61) и (62) в уравнение (60), получаем уравнение теплового баланса в окончательной форме:

$$r \cdot m_2 + c_{\text{в}} m_2 (t_2 - \theta) = c_{\text{л}} m_1 (0 - t_1) + \lambda m_1 + c_{\text{в}} m_1 (\theta - 0).$$

Здесь r – удельная теплота парообразования воды; λ – удельная теплота плавления льда; $c_{\text{в}}$ – удельная теплоемкость воды; $c_{\text{л}}$ – удельная теплоемкость льда.

Диаграмма теплообмена в координатах t^0 - Q рассмотренной совокупности процессов приведена на рис. 13.

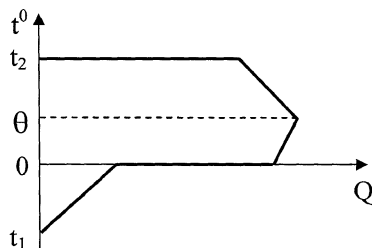


Рис. 13

§ 10. Задания для самостоятельной работы с выбором ответа

1. Как изменяется внутренняя энергия идеального газа при адиабатном уменьшении его объема?

- 1) увеличивается;
- 2) уменьшается;
- 3) увеличивается или уменьшается – в зависимости от скорости изменения объема;
- 4) не изменяется.

2. Как изменяется внутренняя энергия идеального газа при его адиабатном расширении?

- 1) увеличивается;
- 2) уменьшается;
- 3) увеличивается или уменьшается – в зависимости от скорости изменения объема;
- 4) не изменяется.

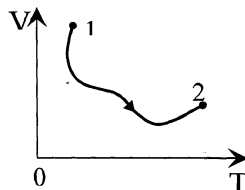
Ответ: _____

3. Определить внутреннюю энергию одноатомного идеального газа, находящегося под давлением $2 \cdot 10^5$ Па и занимающего объем 4 л.

Ответ: _____ Дж

4. С постоянной массой идеального одноатомного газа был совершен процесс, для которого зависимость объема от температуры приведена на рисунке. Сравните плотности ρ и внутренние энергии U газа в состояниях 1 и 2.

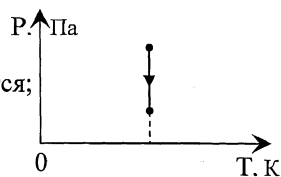
- 1) $\rho_1 > \rho_2$; $U_1 < U_2$;
- 2) $\rho_1 > \rho_2$; $U_1 > U_2$;
- 3) $\rho_1 < \rho_2$; $U_1 > U_2$;
- 4) $\rho_1 < \rho_2$; $U_1 < U_2$.



5. Внутренняя энергия идеального газа в процессе, изображенном на рисунке,

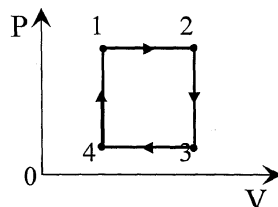
- 1) сначала увеличивается, а затем уменьшается;
- 2) увеличивается;
- 3) уменьшается;
- 4) не изменяется.

Ответ: _____



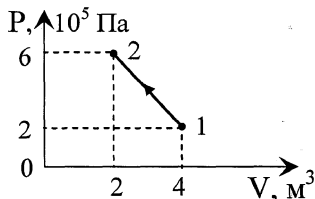
6. В каких процессах цикла работу совершает газ?

- 1) 1–2;
- 2) 4–1 и 1–2;
- 3) 2–3;
- 4) 3–4.



7. Постоянную массу идеального газа переводят из состояния 1 в состояние 2, как показано на рисунке. Определите работу газа.

Ответ: _____ Дж



8. При проведении изотермического процесса газ совершил работу 200 Дж. Какое количество теплоты было сообщено газу?

Ответ: _____ Дж

9. Переданное газу количество теплоты равно изменению внутренней энергии газа в ... процессе

- 1) адиабатическом; 2) изотермическом;
3) изобарическом; 4) изохорическом.

10. Идеальному одноатомному газу изохорически передано количество теплоты 12,45 кДж. Найти изменение внутренней энергии газа, если его температура повысилась на 100 К.

Ответ: _____ кДж

11. При изохорном нагревании двух молей идеального одноатомного газа его внутренняя энергия увеличилась на 150 Дж. Чему равна совершенная при этом работа?

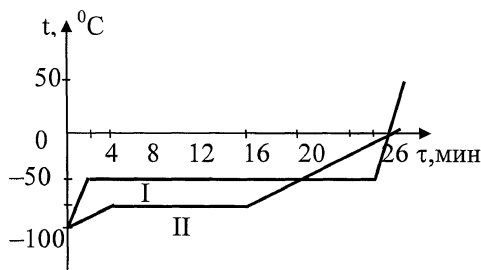
Ответ: _____ Дж

12. При изохорном нагревании идеального одноатомного газа его внутренняя энергия увеличилась на 150 Дж. Чему равна при этом работа газа?

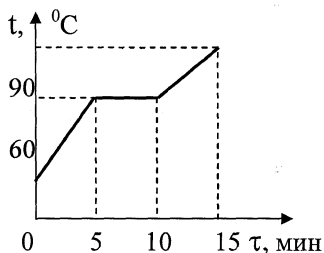
Ответ: _____ Дж

13. На рисунке показаны графики (I и II) зависимости температуры t от времени τ для двух различных веществ одинаковой массы при одинаковой мощности подвода тепла. В начальный момент времени вещества I и II находятся в кристаллическом состоянии. Если у первого вещества (I) удельная теплота плавления равна 400 кДж/кг, то удельная теплота плавления второго вещества (II) равна

- 1) 200 кДж/кг;
2) 400 кДж/кг;
3) 800 кДж/кг;
4) 1600 кДж/кг.



14. Температура плавления нафталина выше 30°C . На рисунке изображен график изменения температуры нафталина с течением времени. На какой минуте нафталин закончит плавиться?



- 1) на 15-й; 2) на 10-й; 3) на 5-й;
4) на графике нет участка плавления нафталина.

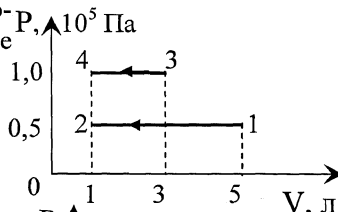
15. Идеальному газу передано количество теплоты, равное 12 МДж. При этом газ расширился, совершив работу 5 МДж, а внутренняя энергия газа

- 1) увеличилась на 17 МДж; 2) увеличилась на 7 МДж;
3) уменьшилась на 7 МДж; 4) осталась без изменения.

16. Рабочее тело идеальной тепловой машины за один цикл совершает работу, равную 400 Дж. Температура нагревателя равна 500 К, температура холодильника равна 300 К. Какое количество теплоты отдается холодильнику за один цикл?

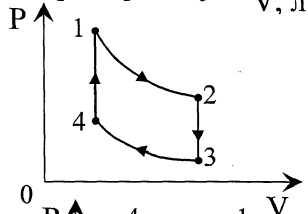
Ответ: _____ Дж

17. На рисунке показано сжатие водорода двумя способами: 1–2 и 3–4. В каком случае работа внешних сил большая?



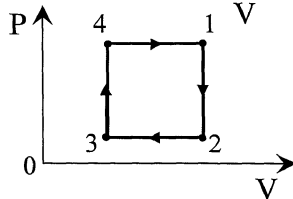
- 1) $A_{12} > A_{34}$ в 2 раза;
2) $A_{12} < A_{34}$ в 2 раза;
3) $A_{12} = A_{34}$;
4) $A_{12} = A_{34} = 0$.

18. На рисунке показан цикл тепловой машины. Рабочее тело – идеальный газ. Участки 1–2 и 3–4 – изотермы. На каких участках цикла газ получает энергию от нагревателя?



- 1) 1–2 и 2–3; 2) 2–3 и 3–4;
3) 3–4 и 4–1; 4) 4–1 и 1–2.

19. На рисунке показан цикл тепловой машины. Рабочее тело – идеальный газ. На каких участках цикла газ получает энергию от нагревателя?



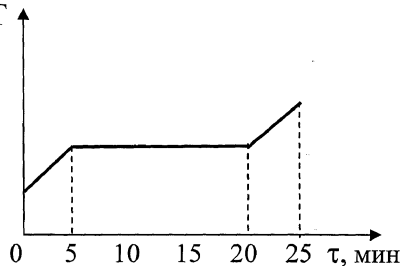
- 1) 1–2 и 2–3; 2) 2–3 и 3–4;
3) 3–4 и 4–1; 4) 4–1 и 1–2.

20. Как изменяется температура воды от начала ее кристаллизации до полного замерзания?

- 1) не изменяется;
2) повышается;
3) понижается;

- 4) в начале процесса повышается, а затем понижается.
21. В процессе конденсации пара выделяется некоторое количество теплоты. Это происходит потому, что внутренняя энергия
- 1) увеличивается;
 - 2) уменьшается;
 - 3) не изменяется;
 - 4) превращается в механическую энергию.
22. Температура кипящей воды в процессе кипения
- 1) не меняется до выкипания всей жидкости ни при каких обстоятельствах;
 - 2) может изменяться при изменении параметров внешней среды;
 - 3) повышается по мере выкипания жидкости;
 - 4) может изменяться при изменении скорости подвода тепла.

23. В печь поместили некоторое количество алюминия. Диаграмма изменения температуры алюминия с течением времени показана на рисунке. Печь при постоянном нагреве передает алюминию 1 кДж энергии в минуту. Какое количество теплоты потребовалось для плавления алюминия?



Ответ: _____ Дж

24. Цинк кристаллизуется при температуре 420°C . Поглощает или выделяет он энергию в ходе затвердевания?
- 1) не поглощает и не выделяет;
 - 2) выделяет;
 - 3) поглощает;
 - 4) может поглощать, может выделять.
25. Если для нагревания 5 кг вещества на 20 К необходимо 13 кДж теплоты, то удельная теплоемкость этого вещества
- 1) $3,25 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$;
 - 2) $52 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$;
 - 3) $130 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$;
 - 4) $0,13 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

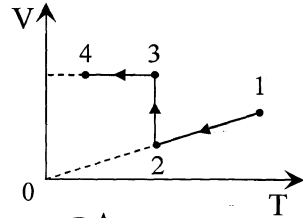
26. Как изменяется температура воды от начала ее кристаллизации до полного замерзания?
- 1) в начале процесса повышается, а затем понижается;
 - 2) не изменяется;
 - 3) повышается;
 - 4) понижается.

27. Кусок металла удельной теплоёмкостью $500 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ нагрели от 20°C до 80°C , затратив количество теплоты, равное 75 кДж. Чему равна масса этого куска металла?

Ответ: _____ кг

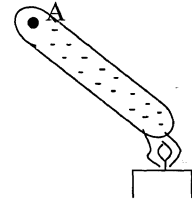
28. Идеальный одноатомный газ переводится из состояния 1 в состояние 4 (см. рисунок). На каком из участков внутреннего энергии газа не меняется?

- 1) энергия всегда постоянна; 2) 1–2;
3) 2–3; 4) 3–4.



29. Запаянную стеклянную трубку с газом нагревают. Через некоторое время температура газа в точке А повышается. Это можно объяснить переносом энергии от места нагревания в точку А

- 1) в основном путем теплопроводности;
2) в основном путем конвекции;
3) в основном путем лучистого теплообмена;
4) путем теплопроводности, конвекции и лучистого теплообмена



примерно в равной мере.

30. Внутреннее пространство герметичных стеклопакетов в оконных рамах заполняют осушенным воздухом при нормальном атмосферном давлении. Какой процесс происходит с воздухом в стеклопакете при резком похолодании на улице?

- 1) изобарное охлаждение; 2) изохорное охлаждение;
3) изотермическое сжатие; 4) адиабатное охлаждение.

31. Как изменяется внутренняя энергия воды при ее испарении?

- 1) уменьшается;
2) не изменяется;
3) в начале процесса увеличивается, а затем уменьшается;
4) увеличивается.

32. Внутренняя энергия одноатомного идеального газа в закрытом сосуде уменьшилась в 2 раза. При этом температура газа

- 1) не изменилась; 2) повысилась в 4 раза;
3) понизилась в 2 раза; 4) понизилась в 4 раза.

33. Идеальный газ обладает внутренней энергией 200 Дж. При его адиабатическом сжатии газом была совершена работа, равная – 100 Дж. Внутренняя энергия стала ... Дж.

Ответ: _____ Дж

34. При изотермическом процессе идеальный одноатомный газ в количестве 2 моль совершил работу 150 Дж. Чему равно количество теплоты, сообщенной газу?

Ответ: _____ Дж

35. Газ получил 300 Дж теплоты и совершил при этом работу 100 Дж. Определите изменение внутренней энергии газа.

Ответ: _____ Дж

36. Для нагревания 0,5 кг некоторого вещества от 0°C до 20°C требуется 7,8 кДж теплоты. Удельная теплоемкость (в единицах СИ) этого вещества равна

Ответ: _____

37. Газ в идеальной тепловой машине отдает холодильнику 60% теплоты, полученной от нагревателя. Какова температура нагревателя, если температура холодильника 400 К?

- 1) 600 К; 2) 667 К; 3) 673°C ; 4) 873°C .

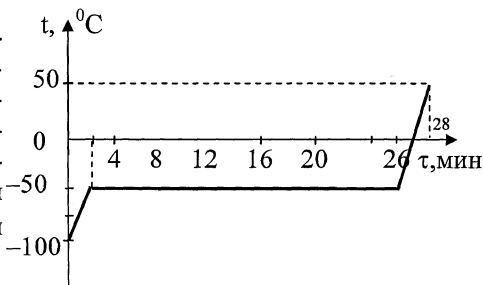
38. Относительная влажность воздуха в закрытом сосуде 40%. Какой будет относительная влажность, если объем сосуда при неизменной температуре уменьшить в 3 раза?

- 1) 60%; 2) 80%; 3) 100%; 4) 120%.

39. Внутреннюю энергию 2 молей одноатомного идеального газа уменьшили на 800 Дж, а внешние силы совершили над ним работу 400 Дж. Какое количество теплоты отдал газ?

Ответ: _____ Дж

40. Кристаллическое вещество начали нагревать при постоянной мощности теплоподвода. График зависимости температуры вещества от времени показан на рисунке. Отношение теплоемкостей вещества $c_{\text{ж}}/c_{\text{т}}$ в жидком ($c_{\text{ж}}$) и твердом ($c_{\text{т}}$) состоянии равно



Ответ: _____

41. Удельная теплоемкость меди 370 Дж/(кг $\cdot^{\circ}\text{C}$). Это означает, что для нагревания

- 1) 370 кг меди на 1°C необходимо затратить количество теплоты 1 Дж;
 2) 1 кг меди на 1°C необходимо затратить количество теплоты 370 Дж;
 3) 1 кг меди на 370°C необходимо затратить количество теплоты 1 Дж;
 4) любой массы меди на 1°C необходимо затратить количество теплоты 370 Дж.

42. Удельная теплоемкость алюминия 910 Дж/(кг $\cdot^{\circ}\text{C}$). Это означает, что при остывании

- 1) 910 кг алюминия на 1 К выделяется количество теплоты 1 Дж;
 2) любой массы алюминия на 1 К выделяется количество теплоты 910 Дж;
 3) 1 кг алюминия выделяется количество теплоты 910 Дж;
 4) 1 кг алюминия на 1 К выделяется количество теплоты 910 Дж.

43. Основой одного из приборов для измерения относительной влажности воздуха служат два термометра, расположенные на одной платфор-

ме. Шарик одного из них всегда обмотан ватой, смоченной водой. Выберите правильный ответ:

- 1) показания термометров одинаковы, так как испарение воды с ватки не может влиять на показания прибора ни при каких обстоятельствах;
- 2) показания термометров одинаковы, так как они находятся рядом;
- 3) показания «влажного» термометра при определенных условиях может оказаться меньше по величине, чем «сухого»;
- 4) показания «влажного» термометра при определенных условиях может оказаться больше по величине, чем «сухого».

44. Теплопередача в вакууме возможна за счет

- 1) только теплопроводности;
- 2) только излучения;
- 3) только конвекции;
- 4) теплопроводности, излучения и конвекции.

§ 11. Задания для самостоятельной работы с кратким ответом

1. Объем гелия, взятого при 27°C , после изобарного нагревания увеличился вдвое. Какой стала температура гелия? (Ответ в единицах СИ).

2. Во сколько раз уменьшится концентрация молекул газа, если его температуру по шкале Кельвина увеличить в 4 раза, а давление увеличить в 2 раза?

3. Какова (в К) температура кислорода массой 32 г, занимающего при давлении $8,3 \cdot 10^5$ Па объем 4 л?

4. Воздух в сосуде объемом 5 л находится при температуре $t_1 = 17^{\circ}\text{C}$ и давлении $P_1 = 2 \cdot 10^6$ Па. Какова масса воздуха в г? $\mu_{\text{воз}} = 29 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

5. Найдите число молей водорода массой 1 кг.

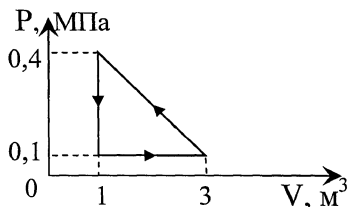
6. Сколько теплоты нужно затратить для плавления 9 кг льда, взятого при 0°C , без нагревания образующейся воды?

Ответ: _____ Дж

7. При изобарическом процессе газ совершает работу 50 Дж. Его объем при этом изменяется от $V_1 = V$ до $V_2 = 2V$. Какая работа будет совершена, если конечный объем газа увеличить до $V_2 = 4V$?

8. Определите работу, совершенную газом за цикл, изображенный на диаграмме.

Ответ: _____ Дж

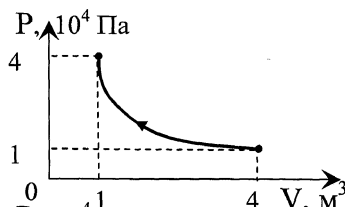


9. Идеальному одноатомному газу, находящемуся в замкнутом сосуде, сообщили 500 Дж теплоты. Определите изменение внутренней энергии газа.

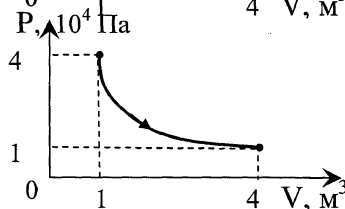
Ответ: _____ Дж

10. Идеальному одноатомному газу изохорно сообщили 300 Дж теплоты. Чему равна совершенная газом работа?

11. На рисунке показан процесс изменения состояния идеального газа. Внешние силы совершили над газом работу, равную $5 \cdot 10^4$ Дж. Какое количество теплоты отдает газ в этом процессе?

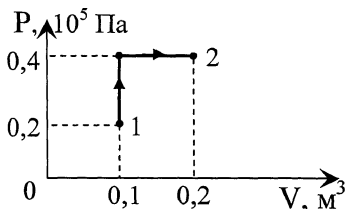


12. На рисунке показан процесс изменения состояния идеального газа. Какую работу совершил газ в этом процессе, если он получил количество теплоты $6 \cdot 10^5$ Дж?



Ответ: _____ Дж

13. Идеальный газ перешел из состояния 1 в состояние 2 (см. рисунок). Во сколько раз изменилась его внутренняя энергия?



14. При изобарном расширении неона при нормальном атмосферном давлении ему сообщили 200 кДж теплоты. Определите изменение объема газа.

15. При изобарном расширении гелия при нормальном атмосферном давлении его объем увеличился на $0,2 \text{ м}^3$. Определите изменение внутренней энергии гелия. Ответ: _____ кДж

16. В закрытом сосуде постоянного объема находятся 4 г гелия. Какое количество теплоты надо сообщить газу, чтобы нагреть его на 20°C ? Молярная масса гелия $4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$.

Ответ: _____ Дж

17. В процессе изобарного расширения газу передано 7,2 МДж теплоты. При этом внутренняя энергия увеличилась на 6 МДж и его объем увеличился на 3 м^3 . Под каким давлением находился газ?

Ответ: _____ кПа

18. При адиабатном расширении 4 молей идеального одноатомного газа его температура понизилась на 15 К. Какую работу при этом совершил газ?

Ответ: _____ Дж

19. Двум молям идеального одноатомного газа передали количество теплоты, равное 500 Дж. На сколько градусов изменилась температура газа, если процесс проходил при постоянном объеме?

20. Газ находится в сосуде под давлением $2,5 \cdot 10^4$ Па. При сообщении газу $6 \cdot 10^4$ Дж теплоты он изобарно расширился на 2 м^3 . На сколько изменилась внутренняя энергия газа?

Ответ: _____ кДж

21. Используя первый закон термодинамики, установите соответствие между описанными в первом столбце особенностями изопроцесса в идеальном газе и его названием.

ОСОБЕННОСТИ ИЗОПРОЦЕССА НАЗВАНИЕ ИЗОПРОЦЕССА

А) все переданное газу количество теплоты идет на совершение работы, а внутренняя энергия газа остается неизменной

1) изотермический

2) изобарный

Б) изменение внутренней энергии газа происходит только за счет совершения работы, так как теплообмен с окружающими телами отсутствует

3) изохорный

4) адиабатный

Ответ:

А	Б

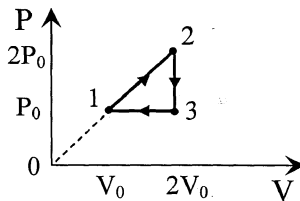
22. В сосуде неизменного объема находится идеальный газ. Если часть газа выпустить из сосуда при постоянной температуре, то как изменятся величины: давление газа, его плотность и количество вещества в сосуде? Для каждой величины определите соответствующий характер ее изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Давление газа	Плотность газа	Количество вещества

23. Тепловая машина, рабочим телом которой является 1 моль идеального одноатомного газа, совершает цикл, изображенный на графике. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.



ПРОЦЕССЫ

- А) на участке 1–2
- Б) на участке 2–3
- В) на участке 3–1

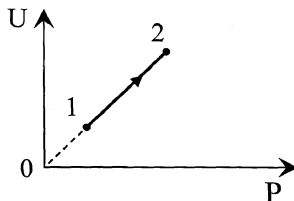
ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

- 1) уменьшится
- 2) увеличится
- 3) не изменится

Ответ:

А	Б	В

24. На рисунке показан процесс изменения состояния одного моля одноатомного идеального газа (U – внутренняя энергия газа; P – его давление). Как изменяются в ходе этого процесса объем, абсолютная температура и теплоемкость газа? Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

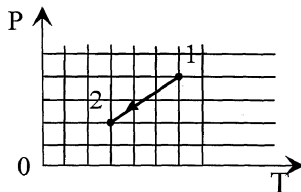


- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Объем газа	Температура газа	Теплоемкость газа

25. Идеальный одноатомный газ переходит из состояния 1 в состояние 2 (см. диаграмму). Масса газа не меняется. Как изменяются в ходе процесса следующие три величины: давление газа, его объем, внутренняя энергия?



Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличивается

- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Давление газа	Объем газа	Внутренняя энергия

26. В ходе адиабатного процесса внутренняя энергия одного моля разреженного гелия увеличивается. Как изменяется при этом температура гелия, его давление и объем?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Температура гелия	Давление гелия	Объем гелия

27. В сосуде находится N молекул идеального газа. Для каждого изопроцесса выберите соответствующую формулу

ПРОЦЕССЫ

А) изобарный процесс при $N = \text{const}$

Б) изотермический процесс при $N = \text{const}$

ФОРМУЛЫ

1) $\frac{P}{T} = \text{const}$

2) $\frac{V}{T} = \text{const}$

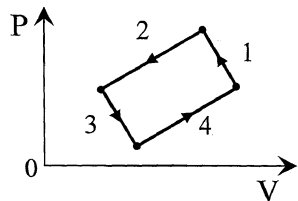
3) $PV = \text{const}$

4) $Q = 0$

Ответ:

А	Б

28. На рисунке изображена диаграмма четырех последовательных изменений состояния 2 моль идеального газа. Какие процессы связаны с наименьшим положительным значением работы газа и наибольшим положительным значением работы внешних сил? Установите соответствие между такими процессами и номерами процессов на диаграмме.



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

ПРОЦЕССЫ

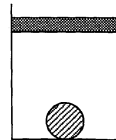
НОМЕРА ПРОЦЕССОВ

- | | |
|--|------|
| А) работа газа положительна и минимальна | 1) 1 |
| Б) работа внешних сил положительна и максимальна | 2) 2 |
| | 3) 3 |
| | 4) 4 |

Ответ:

А	Б

29. В цилиндрическом сосуде под поршнем находится газ. Поршень может перемещаться в сосуде без трения. На дне сосуда лежит стальной шарик (см. рисунок). В сосуд закачивается еще такое же количество газа при неизменной температуре. Как изменится в результате этого объем газа, его давление и действующая на шарик архимедова сила?



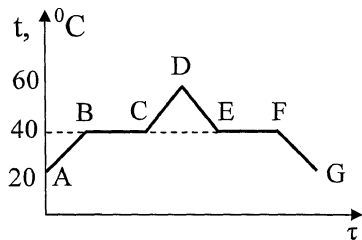
Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Объем газа	Давление газа	Архимедова сила

30. В начальный момент в сосуде под легким поршнем находится только жидкий эфир. На рисунке показан график зависимости температуры t эфира от времени τ его нагревания и последующего охлаждения. Установите соответствие между процессами, происходящими с эфиром, и участками графика.



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

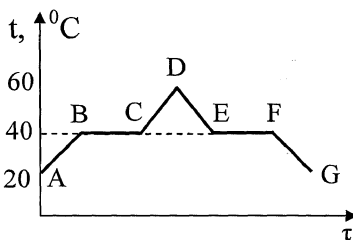
- ПРОЦЕССЫ**
 А) охлаждение паров эфира
 Б) кипение эфира

- УЧАСТКИ ГРАФИКА**
 1) BC
 2) CD
 3) DE
 4) EF

Ответ:

А	Б

31. В начальный момент в сосуде под легким поршнем находится только жидкий эфир. На рисунке показан график зависимости температуры t эфира от времени τ его нагревания и последующего охлаждения. Установите соответствие между процессами, происходящими с эфиром, и участками графика.



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

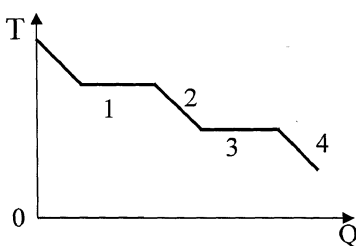
- ПРОЦЕССЫ**
 А) кипение эфира
 Б) конденсация эфира

- УЧАСТКИ ГРАФИКА**
 1) BC
 2) CD
 3) DE
 4) EF

Ответ:

А	Б

32. На рисунке показан график изменения температуры T вещества при постоянном давлении по мере выделения им количества теплоты Q . В начальный момент времени вещество находилось в газообразном состоянии. Какие участки графика соответствуют конденсации пара и остыванию вещества в твердом состоянии? Установите соответствие между тепловыми процессами и участками графика.



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

ПРОЦЕССЫ

- А) конденсация пара
- Б) остывание твердого вещества

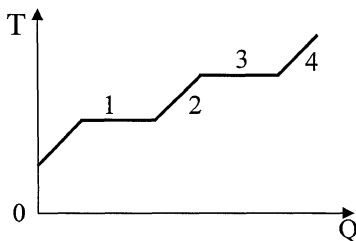
УЧАСТКИ ГРАФИКА

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

Ответ:

А	Б

33. В цилиндре под поршнем находится твердое вещество. Цилиндр поместили в раскаленную печь. На рисунке показан график изменения температуры T вещества по мере поглощения им количества теплоты Q . Какие участки графика соответствуют плавлению вещества и нагреванию вещества в газообразном состоянии? Установите соответствие между тепловыми процессами и участками графика.



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

ПРОЦЕССЫ

- А) плавление
- Б) нагревание газа

УЧАСТКИ ГРАФИКА

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

Ответ:

А	Б

34. В цилиндре под поршнем находятся вода и насыщенный водяной пар. Поршень медленно изотермически вдвигают в цилиндр. Как меняются при этом давление водяного пара, его масса и масса воды в цилиндре?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличивается

- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Давление водяного пара в цилиндре	Масса водяного пара в цилиндре	Масса воды в цилиндре

35. При проведении адиабатного процесса с идеальным газом уменьшается объем газа. Как при этом изменяются давление, температура и внутренняя энергия газа?

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ

- А) давление газа
- Б) температура газа
- В) внутренняя энергия газа

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

Ответ:

А	Б	В

36. В баллоне находится идеальный газ. При постоянной температуре часть газа из баллона выпустили. Как при этом изменяются давление газа и его внутренняя энергия?

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

Ответ:

Давление газа	Внутренняя энергия газа

37. Относительная влажность воздуха в закрытом сосуде φ . Как изменится относительная влажность, если объем сосуда при постоянной температуре увеличить? Как при этом изменятся парциальное давление водяного пара и давление насыщенного пара?

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ

- А) относительная влажность воздуха
- Б) давление водяного пара
- В) давление насыщенного пара

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Ответ:

А	Б	В

38. В идеальной тепловой машине температура нагревателя T_H , а температура холодильника T_X . Как изменятся КПД тепловой машины и

отношение теплоты, полученной от нагревателя, к теплоте, отданной холодильнику, если температуру нагревателя и температуру холодильника увеличить в 2 раза?

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Ответ:

КПД тепловой машины	Отношение теплоты, полученной от нагревателя, к теплоте, отданной холодильнику

§ 12. Задания для самостоятельной работы с развернутым ответом

1. Один моль некоторого идеального газа изобарически нагрели на $\Delta T = 72$ К, сообщив ему количество тепла $Q = 1,6 \cdot 10^3$ Дж. Найти совершенную газом работу, приращение его внутренней энергии.

2. Какое количество тепла необходимо сообщить азоту при его изобарическом нагревании, чтобы газ совершил работу $A = 2$ Дж? Чему равно изменение его внутренней энергии?

3. Одноатомный газ, занимающий объем 20 л под давлением 10^6 Па, был изобарически нагрет от 50 до 200°C . Найти работу расширения газа и количество тепла, переданное газу.

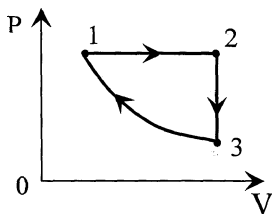
4. Азот массой $m = 5$ кг, нагретый на $\Delta T = 150$ К, сохранил неизменный объем V . Найти: 1) количество теплоты Q , сообщенное газу; 2) изменение ΔU внутренней энергии; 3) совершенную газом работу.

5. Параметры начального состояния газа P_1, V_1, T_1 . Газ изохорно нагревается до T_2 , затем изобарически сжимается до T_1 , после чего сжимается изотермически. Нарисуйте графики данного перехода в координатах P - V . Для каждого процесса запишите газовый закон и первый закон термодинамики. Укажите в каких процессах тепло поглощается, а в каких выделяется.

6. Параметры начального состояния газа P_1, V_1, T_1 . Газ изохорно охлаждается до T_2 , затем изотермически сжимается до первоначального давления, затем изобарически охлаждается до T_4 . Нарисуйте график данного процесса в координатах V - T . Для каждого процесса запишите газовый закон и первый закон термодинамики. Укажите в каких процессах тепло поглощается, а в каких выделяется.

7. Гелий массой 4 г находится в закрытом баллоне при температуре 300 К. После подведения к газу количества тепла 15 кДж давление в баллоне стало 5 атм. Определить объем баллона.

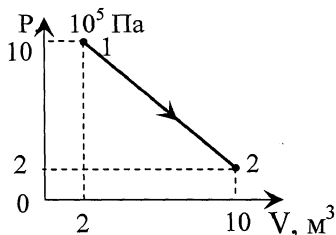
8. На рисунке дан график кругового процесса в координатах P-V, где линия (1-3) – изотерма. Изобразите этот процесс в координатах P-T, V-T. Какому из изопроцессов соответствует максимальное значение совершенной работы. Запишите первый закон термодинамики и уравнения процессов 1-2, 2-3, 3-1.



9. Для изобарного нагревания некоторого газа, количество вещества которого

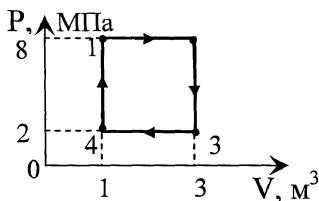
800 моль, на 500 К ему сообщили количество теплоты 9,4 МДж. Определить работу газа и приращение его внутренней энергии.

10. Для процесса 1-2 с идеальным одноатомным газом, представляющего собой линейную зависимость давления газа от его объема (рисунок), определите: а) работу газа; б) изменение внутренней энергии газа; в) количество теплоты, полученное газом.

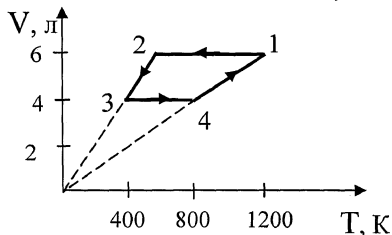


11. Сформулируйте и запишите первый закон термодинамики. Для изобарного нагревания одноатомного идеального газа ему сообщили 500 Дж теплоты. Определите работу, совершенную газом.

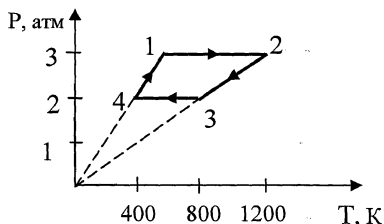
12. Одноатомный идеальный газ совершает замкнутый цикл, график которого изображен на рисунке. Определить теплоту Q_1 , полученную от нагревателя; теплоту Q_2 , переданную охладителю; полезную работу, совершенную за цикл; КПД цикла.



13. Некоторый одноатомный газ в количестве 0,25 моля совершает замкнутый цикл, изображенный на рисунке. Определить: 1) работу, совершенную газом за цикл; 2) КПД цикла. Построить график цикла в осях P-V.



14. Некоторый одноатомный газ в количестве 0,25 моля совершает замкнутый цикл, изображенный на рисунке. Определить: 1) работу, совершенную газом за цикл; 2) КПД цикла. Построить график цикла в осях P-V.



15. При адиабатном процессе газ совершает работу $3 \cdot 10^6$ Дж. Рассчитайте изменение внутренней энергии газа. Что произойдет с газом – нагревание или охлаждение?

16. 1 Моль идеального одноатомного газа при температуре 300 К охладили изохорически, вследствие чего давление уменьшилось в два раза, затем газ изобарически расширили так, что в конечном состоянии температура газа стала равна первоначальной. Найдите количество теплоты, поглощенной газом в данных процессах.

17. В идеальной тепловой машине температура нагревателя T_1 в четыре раза выше температуры холодильника T_2 . Нагреватель отдал газу 48 кДж теплоты. Определить коэффициент полезного действия, полезную работу машины, количество теплоты, отданное холодильнику.

18. Идеальная тепловая машина работает за счет 3,7 кДж энергии, полученной от нагревателя. Определить совершенную машиной работу, если температура нагревателя 97°C , а температура холодильника 17°C .

19. Идеальная тепловая машина превращает в механическую работу 40% тепла, полученного от нагревателя. Определить температуру нагревателя, если температура холодильника 27°C .

20. Тело, нагретое до температуры 100°C , опустили в калориметр, содержащий 200г воды. Начальная температура калориметра с водой 23°C . После установления теплового равновесия температура тела и воды стала равна 30°C . Определите массу тела, если удельная теплоемкость вещества, из которого сделано тело, равна $187 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$. Теплоемкостью калориметра пренебречь. Ответ округлите до сотых.

21. В сосуд со льдом, масса которого 3 кг и температура -25°C , впускают водяной пар, находящийся при 100°C . Температура образовавшейся воды 90°C . Нарисуйте диаграмму теплообмена в координатах t-Q. Получите выражение, позволяющее определить массу пара.

22. В школьном физическом кружке изучали уравнение теплового баланса. В одном из опытов использовали два калориметра. В первом калориметре находилась вода при 50°C , во втором -200г льда и 200г воды при температуре 0°C . Какая масса воды находилась первоначально в первом калориметре, если после добавления в него всего содержимого второго в первом калориметре установилась температура 2°C ? Теплоемкостью калориметров пренебречь.

23. В медный калориметр $m_1 = 500$ г, заполненный льдом массой $m_2 = 1$ кг при $t_2 = -2^{\circ}\text{C}$, впускают пар массой $m_3 = 0,2$ кг при 100°C . Какая температура установится в калориметре? Нарисуйте диаграмму теплообмена $t-Q$.

24. В смесь из 5,0 кг льда и 4,0 кг воды, взятых при одинаковой температуре, впустили 0,50 кг водяного пара при 100°C . Весь ли лед растаял? Какова температура смеси?

25. В закрытом латунном калориметре массой 200 г находится 1 кг льда при температуре -10°C . В калориметр впускают 200 г пара, имеющего температуру 110°C . Какая температура установится в калориметре? Удельную теплоемкость паров воды в интервале от 100°C до 110°C считать равной $1,68 \cdot 10^3$ Дж/кг·К.

26. В калориметре теплоемкостью 1000 Дж/К находится 0,2 кг воды и 0,05 кг льда при температуре 0°C . Какое количество водяного пара при температуре 110°C надо впустить в калориметр, чтобы в нем установилась температура 40°C ? Удельную теплоемкость паров воды в интервале от 100°C до 110°C считать равной $1,68 \cdot 10^3$ Дж/кг·К.

27. Спортсмен массой 60 кг скатывается на санках с горы, угол наклона которой к горизонту 30° . Длина спуска 200 м. У подножия горы скорость санок оказалась равной 72 км/ч. На сколько градусов нагрелись стальные полозья саней, если на их нагрев пошло 20% выделившегося тепла? Масса полозьев саней равна 2 кг. Удельная теплоемкость стали 460 Дж/кг·К.

28. Свинцовая пуля, летящая со скоростью 300 м/с, пробивает лист фанеры и летит со скоростью 200 м/с. На сколько градусов нагрелась пуля, если на ее нагревание пошло 30% механической энергии?

29. С какой скоростью должен двигаться кусок льда, имеющий температуру 0°C , чтобы при ударе о каменную стену он полностью расплавился?

30. Паровой молот массой 10^4 кг падает с высоты 2,5 м на железную болванку массой 200 кг. Считая, что 60% энергии молота при ударе идет на нагревание болванки, определить число ударов молота о болванку, если ее температура увеличилась на 40° .

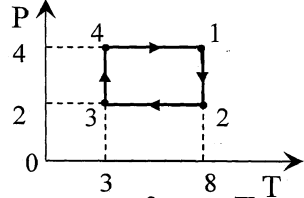
31. Чему равна средняя сила сопротивления воды движению парохода, если он в течение трех суток при средней скорости 10 км/ч потребил $m = 6,5$ т угля? Коэффициент полезного действия судового двигателя $\eta = 0,1$.

32. Двигатель самолета при скорости 360 км/ч развивает мощность 240 кВт. Определить расход бензина при перелете на 10^3 км. КПД двигателя 25%.

33. Для работы двигателя, коэффициент полезного действия которого 16%, запасено нефти в количестве 5,4 т. Определить на сколько дней хватит запаса топлива, если средняя мощность двигателя во время работы

14,7 кВт и продолжительность рабочего дня 7 часов. Удельная теплота сгорания нефти $4,6 \cdot 10^7$ Дж/кг.

34. На P-T диаграмме показан цикл тепловой машины, у которой рабочим телом является идеальный газ (см. рисунок). Найдите модуль отношения работ газа A_{41}/A_{23} на участках 4-1 и 2-3.



35. Одноатомный идеальный газ изобарно сжимают в 2 раза. После чего изохорно нагревают, сообщая ему количество теплоты $Q = 3$ Дж. После чего снова сжимают изобарно до начальной температуры. Какую работу совершили над газом в течение всего процесса?

36. Аргон расширяется сначала адиабатно, потом изотермически, при этом конечная абсолютная температура в два раза ниже начальной. Совершенная газом за весь процесс работа $A = 5$ Дж. Какое количество тепла было получено газом в процессе, если начальные давление и объем $P_1 = 1$ кПа, $V_1 = 4$ л?

37. Некоторое количество гелия расширяется: сначала изобарно, затем изотермически, совершая при этом работу $A = 3$ Дж. Начальная и конечная абсолютные температуры отличаются в 2 раза. Начальное давление и объем: $P_1 = 1$ кПа, $V_1 = 2$ л. Найти количество теплоты Q , полученное газом в этом процессе.

38. Аргон расширяется сначала изотермически, потом адиабатно, при этом конечная абсолютная температура в два раза ниже начальной. Совершенная газом за весь процесс работа $A = 6$ Дж. Какое количество теплоты было получено газом, если начальные давление и объем $P_1 = 1$ кПа, $V_1 = 4$ дм³?

39. Из начального состояния в конечное одноатомный идеальный газ можно перевести двумя способами:

1) сначала газ изохорически охлаждают до абсолютной температуры, которая в 32 раза меньше начальной, потом газ изобарно расширяется в восемь раз, в этом процессе газ совершает работу $A = 7$ Дж;

2) адиабатным расширением.

Какую работу совершит газ в процессе II?

40. Относительная влажность воздуха в закрытом сосуде 90%. Какой будет относительная влажность, если объем сосуда при неизменной температуре увеличить в 1,5 раза? Ответ выразить в процентах.

41. Относительная влажность воздуха в закрытом сосуде 40%. Какая часть водяного пара выпадет в виде росы, если объем сосуда при неизменной температуре уменьшить в 3 раза? Ответ выразите в процентах и округлите до целых.

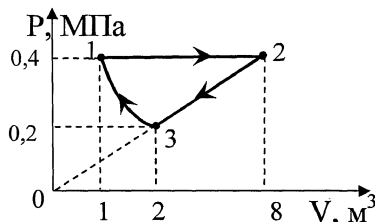
42. В комнате объемом 150 м^3 при температуре 20°С содержится $2,07 \text{ кг}$ водяных паров. Определите относительную влажность воздуха, если давление насыщенного пара при этой температуре $P_n = 2,3 \cdot 10^3 \text{ Па}$. Ответ выразите в процентах и округлите до целых.

43. Относительная влажность воздуха при 20°С равна 80% , давление насыщенного водяного пара при этой температуре $P_n = 2,3 \cdot 10^3 \text{ Па}$. Сколько граммов водяных паров выпадет в росу из каждого кубического метра этого воздуха, если его температура понизится до 8°С ? Плотность насыщенного водяного пара при 8°С равна $8,3 \text{ г/м}^3$. Ответ выразите в граммах и округлите до десятых долей.

44. Сколько надо испарить воды в 5000 м^3 воздуха, относительная влажность которого 60% при температуре 20°С , чтобы увлажнить его до 70% при той же температуре? Давление насыщенного водяного пара $P_n = 2,3 \cdot 10^3 \text{ Па}$. Ответ округлите до десятых долей килограмма.

45. В цилиндре под поршнем находится воздух при 100°С , имеющий относительную влажность 40% . Во сколько раз нужно изменить объем воздуха, чтобы при охлаждении до 20°С на стенках сосуда выпала роса? Нормальное атмосферное давление $P_0 = 10^5 \text{ Па}$, давление насыщенного водяного пара при 20°С $P_n = 2,3 \cdot 10^3 \text{ Па}$. Ответ округлите до десятых.

46. Один моль одноатомного идеального газа совершает цикл, изображенный на PV -диаграмме (см. рисунок). Участок 3–1 – адиабата. Чему равна работа газа за цикл?



47. Шесть моль одноатомного идеального газа сначала изохорно охлаждают, отбирая у него количество теплоты $Q_1 = 60 \text{ Дж}$. Затем газ изобарно нагревают до первоначальной температуры. Какое количество теплоты Q_2 сообщено газу при изобарном процессе? P

48. Изображенный на рисунке цикл состоит из двух изотерм и двух отрезков прямых, выходящих из начала координат. $V_1 = 2 \text{ м}^3$, $V_2 = 5 \text{ м}^3$, $V_3 = 10 \text{ м}^3$. Найти V_4 .



ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава I. Кинематика

§ 1. Основные понятия и величины	3
§ 2. Равномерное прямолинейное движение.....	4
§ 3. Относительность движения	6
§ 4. Равнопеременное прямолинейное движение.....	7
§ 5. Средняя и мгновенная скорости.....	11
§ 6. Равномерное движение по окружности.....	12
§ 7. Примеры решения задач	14
§ 8. Задания для самостоятельной работы с выбором ответа	24
§ 9. Задания для самостоятельной работы с кратким ответом.....	27
§ 10. Задания для самостоятельной работы с развернутым ответом	34

Глава II. Динамика

§ 1. Сила. Масса. Закон Гука	37
§ 2. Законы Ньютона	38
§ 3. Сила тяжести. Вес.....	40
§ 4. Всемирное тяготение.....	41
§ 5. Сила трения	43
§ 6. Неинерциальные системы отсчета.....	44
§ 7. Примеры решения задач	45
§ 8. Задания для самостоятельной работы с выбором ответа	53
§ 9. Задания для самостоятельной работы с кратким ответом.....	57
§ 10. Задания для самостоятельной работы с развернутым ответом	63

Глава III. Законы сохранения

§ 1. Импульс тела. Импульс силы	67
§ 2. Закон сохранения импульса.....	68
§ 3. Работа. Мощность.....	69
§ 4. Энергия. Закон сохранения энергии в механике	70
§ 5. Столкновение двух тел.....	75
§ 6. Примеры решения задач	77
§ 7. Задания для самостоятельной работы с выбором ответа	88
§ 8. Задания для самостоятельной работы с кратким ответом.....	92
§ 9. Задания для самостоятельной работы с развернутым ответом	98

Глава IV. Статика. Гидростатика

§ 1. Момент силы. Правило моментов.....	104
§ 2. Условие равновесия тела	104
§ 3. Виды равновесия.....	105
§ 4. Давление. Закон Паскаля	107
§ 5. Сообщающиеся сосуды.....	108
§ 6. Гидравлический пресс.....	109

§ 7. Закон Архимеда	110
§ 8. Примеры решения задач	112
§ 9. Задания для самостоятельной работы с выбором ответа	121
§ 10. Задания для самостоятельной работы с кратким ответом.....	126
§ 11. Задания для самостоятельной работы с развернутым ответом	129
Глава V. Молекулярная физика	
§ 1. Основные понятия и определения	132
§ 2. Броуновское движение. Диффузия	133
§ 3. Силы взаимодействия между молекулами.....	134
§ 4. Уравнение состояния идеального газа. Закон Дальтона	135
§ 5. Газовые законы	137
§ 6. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа.....	139
§ 7. Примеры решения задач	141
§ 8. Задания для самостоятельной работы с выбором ответа	147
§ 9. Задания для самостоятельной работы с кратким ответом.....	151
§ 10. Задания для самостоятельной работы с развернутым ответом	154
Глава VI. Основы термодинамики	
§ 1. Внутренняя энергия.....	157
§ 2. Количество теплоты. Уравнение теплового баланса.....	158
§ 3. Теплопередача.....	161
§ 4. Работа газа	161
§ 5. Первый закон термодинамики.....	163
§ 6. Применение первого закона термодинамики к изопроцессам.....	164
§ 7. Принцип работы тепловой машины	166
§ 8. Насыщенный пар. Влажность воздуха	167
§ 9. Примеры решения задач	168
§ 10. Задания для самостоятельной работы с выбором ответа	177
§ 11. Задания для самостоятельной работы с кратким ответом.....	183
§ 12. Задания для самостоятельной работы с развернутым ответом	192

Учебное издание

Незнаева Татьяна Владимировна

Ф И З И К А

Учебное пособие

Часть I

2-е издание

Техн. редактор *А.В. Миних*

Издательский центр Южно-Уральского государственного университета

Подписано в печать 14.06.2019. Формат 60×84 1/16. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 11,62. Тираж 500 экз. Заказ 182/290.

Отпечатано в типографии Издательского центра ЮУрГУ.
454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76.