

**1. Выразительная величина (10 баллов).**

Требуется выразить неизвестную положительную величину **ТОЛЬКО** через известные положительные величины. В ряде заданий нужно будет посчитать числовые значения.

	Выражение	Известные величины	Найти
1.1. (1 балл)	$cm(t - t_1) = NT$	$c, m, N, T, t$	$t_1$
1.2. (1 балл)	$I = \frac{U}{R_1 + R_2}$	$I, U, R_1$	$R_2$
1.3. (1 балл)	$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$	$R, R_1$	$R_2$
1.4. (1 балл)	$V = at$ $S = \frac{1}{2} at^2$	$V, a$	$S$
1.5 (1 балл)	$m \frac{V^2}{R + h} = G \frac{mM}{(R + h)^2}$	$G, M, V, R$	$h$
1.6. (1 балл)	$x = V_0 t - \frac{at^2}{2};$ $V = V_0 - at$	$V, a, V_0$	$x$
1.7 (1 балл)	$ma = -\frac{mg}{L} x;$ $a = -\omega^2 x$	$g, L$	$\omega$
1.8 (1 балл)	$Ma_1 = Mg - T;$ $ma_2 = 2T;$ $2a_2 = a_1$	$m, M, g$	$T$
1.9. (1 балл)	$m \frac{V^2}{R} = k \frac{e^2}{R^2};$ $E = m \frac{V^2}{2} - k \frac{e^2}{R}$	$k, e, R$	$E$
1.10.(1 балл)	Посчитать значение $E$ , найденное в предыдущем пункте при известных $k, e, R$	$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2};$ $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл};$ $r = 5,3 \cdot 10^{-11} \text{ м}.$	$E$

**ОТВЕТЫ:**

1.1.

$$t_1 = t - \frac{NT}{cm}$$

1.2.

$$R_2 = \frac{U}{I} - R_1.$$

1.3.

$$R_2 = \frac{RR_1}{R_1 - R}.$$

1.4.

$$S = \frac{V^2}{2a}.$$

1.5.

$$h = \frac{GM}{V^2} - R.$$

1.6.

$$x = \frac{V_0^2 - V^2}{2a}.$$

1.7.

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{L}}.$$

1.8.

$$T = \frac{mMg}{m + 4M}.$$

1.9.

$$E = -k \frac{e^2}{2R}.$$

1.10.

$$E = -2,17 \cdot 10^{-18} \text{ Дж.}$$

## 2.Скорость частицы (4 балла)

Обозначим скорость движения частицы  $V$ .

1.1. Чем запись  $V = const$  отличается от записи  $\vec{V} = \overrightarrow{const}$ ?

1.2. Что означает запись  $V_x = const$ ?

1.3. Может ли быть, что  $V_x = const$ , а  $V \neq const$ , приведите примеры, когда это возможно.

### ОТВЕТЫ:

1.1. Запись  $V = const$  означает, что модуль скорости остается постоянным, при этом тело может двигаться, меняя направление. А запись  $\vec{V} = \overrightarrow{const}$  означает, что скорость остается постоянной и по модулю и по направлению. (1 балл)

1.2. Запись  $V_x = const$  означает, что остается постоянной проекция скорости на ось  $OX$ . (1 балл)

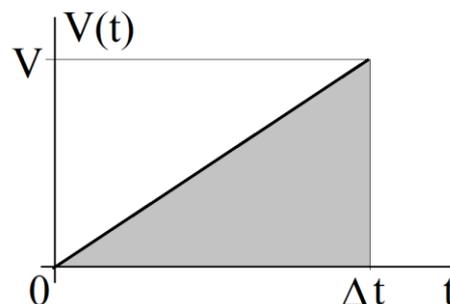
1.3. Запись  $V_x = const$  означает, что остается постоянной проекция скорости на ось  $OX$ , при этом проекции скорости на оси  $OY$  и  $OZ$  могут меняться. (1 балл). Например, проведем ось  $OX$  вертикально вверх, а оси  $OZ$  и  $OY$  лежат на поверхности земли. Пусть в этом месте поверхность земли достаточно плоская. Если тело движется по поверхности земли, то проекция  $V_x$  всегда будет равна нулю. (1 балл за пример).

### 3. Ускоряемся! (6 баллов)

3.1. Дайте определение равноускоренного движения. (1 балл)

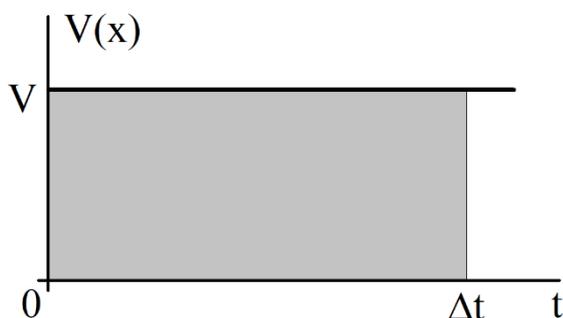
3.2. Докажите, что площадь, указанная на рисунке, равна пути, пройденному телом за промежуток времени  $\Delta t$ . (2 балла)

3.3. Тело, имея некоторую начальную скорость, движется равноускоренно. За время  $t$  тело прошло путь  $s$ , причём его скорость увеличилась в  $n$  раз. Найти ускорение тела. (3 балла)



#### ОТВЕТЫ И ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ:

3.1. Равноускоренное движение – это движение с постоянным по модулю и направлению ускорением, либо – движение, при котором вектор скорости за любые равные промежутки времени меняется на одну и ту же по модулю и направлению величину.



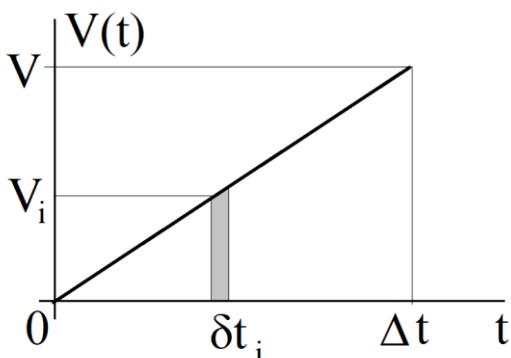
3.2. Сначала рассмотрим движение с постоянной скоростью.

Понятно, что площадь прямоугольника, выделенного цветом, равна

$$S = V \cdot \Delta t.$$

Таким образом, для равномерного движения доказательство очевидно.

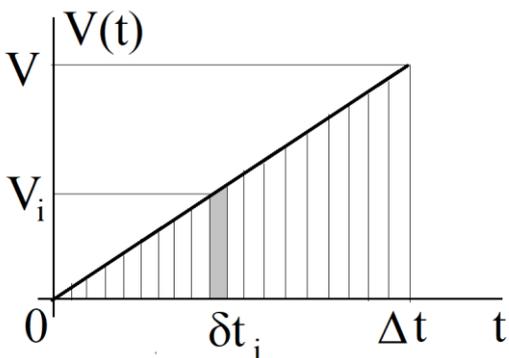
Рассмотрим движения с переменной скоростью.



Чтобы воспользоваться результатами предыдущего доказательства, разобьём интервал  $\Delta t$  на множество малых промежутков времени  $\delta t_i$ , которые будут малы настолько, что движение в пределах этого участка можно считать равномерным. Понятно, что путь, который тело прошло за время  $\delta t_i$ , равен

$$S_i = V_i \cdot \delta t_i.$$

Для того, чтобы найти весь путь за время  $\Delta t$ , нужно просуммировать пути  $S_i$ , пройденные телом за все интервалы  $\delta t_i$ . Графически это означает, что надо сложить площади всех прямоугольников, получим площадь треугольника.



3.3. Путь тела  $S$  за время  $t$  равен

$$S = Vt + \frac{at^2}{2}. \quad (1)$$

Скорость тела в момент времени  $t$  равна

$$nV = V + at. \quad (2)$$

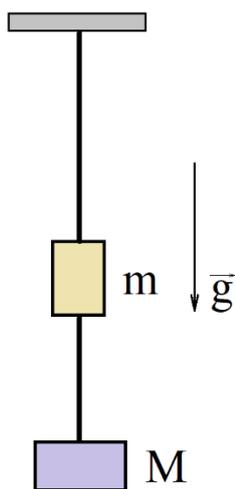
Из последнего соотношения выражаем скорость  $V$

$$V = \frac{at}{n-1},$$

подставляем в первое, находим ускорение

$$a = \frac{2S(n-1)}{t^2(n+1)}.$$

1	Записано выражение (1)	0,5 балла
2	Записано выражение (2)	0,5 балла
3	Проделаны все преобразования, получен ответ	2 балла



#### 4. Грузы в лифте (7 баллов)

Два тела массами  $m = 1 \text{ кг}$  и  $M = 2 \text{ кг}$ , связанные невесомой и нерастяжимой нитью, привязаны к потолку кабины лифта. Ускорение свободного падения  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

4.1. Лифт покоится. Найти силы натяжения нитей. (2 балла)

4.2. Лифт движется ускоренно. Сила натяжения нижней нити известна и равна  $T = 40 \text{ Н}$ . Найти силу натяжения верхней нити и ускорение (модуль, направление) ускорения лифта (5 баллов)

#### ОТВЕТЫ И ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ:

4.1. Сделаем рисунок, расставим силы, действующие на тела. Для нижнего тела

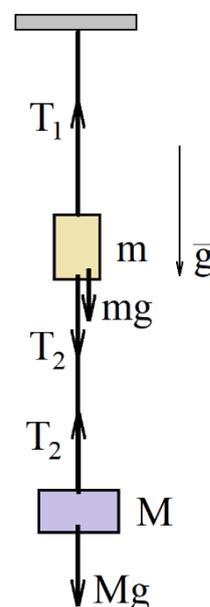
$$T_2 = Mg;$$

$$T_2 = 20 \text{ Н}.$$

Для верхнего тела

$$T_1 = T_2 + mg;$$

$$T_1 = 30 \text{ Н}.$$



1	Записано условие покоя нижнего тела, найдена сила натяжения нижней нити	0,5 балла
2	Записано условие покоя верхнего тела, найдена сила натяжения верхней нити	1 балл
3	Сделан рисунок, указаны силы, действующие на тела (0,2 – за нижнее тело, 0,3 – за верхнее)	0,5 балла

4.2. Так как сила натяжения нижней нити стала  $40 \text{ Н}$ , что больше  $20 \text{ Н}$ , то ускорение лифта направлено вверх.

Сделаем рисунок, расставим силы, действующие на тела, запишем второй закон Ньютона для каждого из тел. Для нижнего тела

$$Ma = T_2 - Mg.$$

Для верхнего тела

$$ma = T_1 - mg - T_2.$$

Решая уравнения совместно, получим ускорение тела

$$a = \frac{T_2}{M} - g;$$

$$a = 10 \text{ м/с}^2.$$

Сила натяжения верхней нити равна

$$T_1 = T_2 \frac{m + M}{M};$$

$$T_1 = 60 \text{ Н.}$$

1	Указано и объяснено направление ускорения	1 балл
2	Записано второй закон Ньютона для нижнего тела	0,5 балла
3	Записано второй закон Ньютона для верхнего тела	0,5 балла
4	Сделан рисунок, указаны силы, действующие на тела	1 балл
5	Найдена сила натяжения верхней нити и ускорение (формула, число) (по 1 баллу за каждое)	2 балла

### 5. Сила трения (5 баллов)

5.1. Сила трения покоя и сила трения скольжения. В каком случае возникают, как направлены, чему равны.

5.2. На тело, лежащее на горизонтальной поверхности, действует горизонтальная сила  $F$ . Найти значение силы трения и ускорение тела, если модуль силы равен 1 Н и 2 Н. Масса тела 1 кг, коэффициент трения скольжения равен 0,15. Ускорение свободного падения  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

#### ОТВЕТЫ И ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ:

5.1. Сила трения покоя — сила, возникающая на границе соприкасающихся тел при отсутствии их относительного движения. Сила трения покоя направлена по касательной к поверхности соприкосновения тел, она равна силе, пытающейся сдвинуть тело с места (точнее — ее составляющей, направленной вдоль поверхности) и направлена противоположно ей. (1 балл)

Сила трения скольжения — сила, возникающая на границе соприкасающихся тел при их относительном движении. Вектор силы трения скольжения направлен противоположно вектору скорости движения тела относительно поверхности, по которой оно скользит. Опыт показывает, что модуль силы трения скольжения пропорционален силе нормального давления:

$$F_{\text{тр}}^{\text{ск}} = \mu N.$$

Здесь  $\mu$  — коэффициент трения скольжения. Он зависит от рода трущихся поверхностей и качества их обработки. (1 балл)

5.2. Определим значение силы трения скольжения

$$F_{\text{тр}}^{\text{ск}} = \mu N,$$

$$F_{\text{тр}}^{\text{ск}} = 0,15 \cdot 1 \cdot 10 = 1,5 \text{ Н.}$$

Понятно, что если к телу приложена горизонтальная сила  $F_1 = 1 \text{ Н}$ , то оно будет покоиться и сила трения равна 1 Н.

Если же на тело действует горизонтальная сила  $F_2 = 2 \text{ Н}$ , то оно будет двигаться ускоренно, сила трения скольжения равна

$$F_{\text{тр}}^{\text{ск}} = 0,15 \cdot 1 \cdot 10 = 1,5 \text{ Н.}$$

1	Найдено значение силы трения скольжения	0,5 балла
2	Указано, что при 1 Н тело покоится, при 2 Н движется	1 балл
3	Найдены значения сил трения (по 0,75 за каждую)	1,5 балла

## 6. Энергия и работа (8 баллов)

6.1. Дать определение работы постоянной силы. Что означает, что работа силы отрицательна? (1 балл)

6.2. Груз массой 2 кг медленно подняли на высоту 2 метра по гладкой наклонной плоскости с углом  $30^\circ$ , действуя силой  $F = 30$  Н параллельной наклонной плоскости. Найти работу всех сил, действующих на тело. Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. (5 баллов)

6.3. Тело падает с высоты  $H$  без начальной скорости. На какой высоте кинетическая энергия равна потенциальной? (2 балла)

### ОТВЕТЫ И ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ:

6.1. Пусть под действием постоянной силы  $\vec{F}$  тело совершило перемещение  $\vec{S}$ . Работа силы равна

$$A = F \cdot S \cdot \cos\alpha.$$

Здесь  $\alpha$  – угол между силой  $\vec{F}$  и перемещением  $\vec{S}$ .

Работа силы будет отрицательной, если угол между силой и перемещением будет тупым. Это означает, что тело перемещается в указанном направлении, а сила  $F$  этому препятствует, то есть тело в указанном направлении перемещают другие силы, они и совершают положительную работу.

6.2. На тело действуют сила  $F$ , сила тяжести  $mg$ , сила нормальной реакции опоры  $N$ . Определим работу каждой из них.

Работа силы  $F$

$$A_F = F \cdot S = F \cdot \frac{h}{\sin\alpha};$$

$$A_F = F \cdot \frac{h}{\sin 30^\circ} = 2Fh = 120 \text{ Дж.}$$

Работа силы тяжести

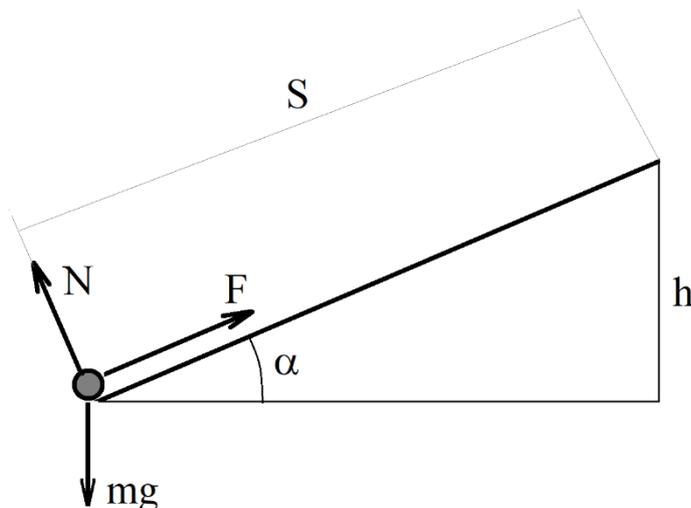
$$\begin{aligned} A_{mg} &= mgS \cos(90^\circ + \alpha) \\ &= mgh \frac{\cos 120^\circ}{\sin 30^\circ} \\ &= -mgh; \end{aligned}$$

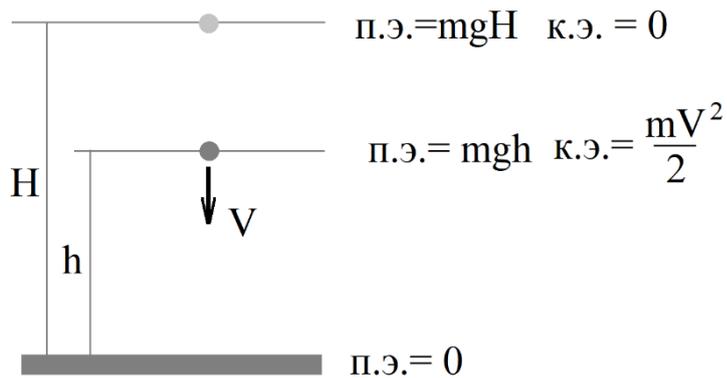
$$A_{mg} = -40 \text{ Дж.}$$

Работа силы нормальной реакции опоры равна нулю, так как эта сила перпендикулярна перемещению

$$A_N = 0.$$

1	Записана формула для нахождения работы	1 балл
2	Работа силы $F$ : найдена связь высоты и перемещения вдоль плоскости найдена работа силы $F$	1 балл 1 балл
3	Работа силы тяжести без знака минус	1 балл (0,5 баллов)
4	Работа силы $N$	1 балл





6.3. Нуль потенциальной энергии выберем на поверхности земли. Определим кинетическую и потенциальную энергии на высотах  $H$  и  $h$  (см.рисунок), запишем закон сохранения энергии, определим  $h$

$$mgH = mgh + \frac{mV^2}{2};$$

$$mgh = \frac{mV^2}{2};$$

$$h = \frac{H}{2}.$$

$$F_{\text{тр}}^{\text{ск}} = 0,15 \cdot 1 \cdot 10 = 1,5 \text{ Н}.$$

1	Определены все значения энергий, записан закон сохранения энергии	1,5 балла
2	Найдена нужная высота	0,5 баллов

### 7.Лёд и пар (5 баллов)

В теплоизолированном сосуде находится лёд массой  $m = 100$  г при начальной температуре  $0^\circ\text{C}$ .

7.1.Какое минимальное количество водяного пара, имеющего температуру  $100^\circ\text{C}$ , надо впустить в сосуд, чтобы лёд полностью растаял? (3 балла)

7.2.Какое минимальное количество водяного пара, имеющего температуру  $100^\circ\text{C}$ , надо впустить в сосуд, чтобы конечная температура в сосуде стала равной  $100^\circ\text{C}$ ? (2 балла)

Удельная теплота плавления льда  $\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ ; удельная теплота парообразования воды (конденсации пара)  $r = 2,3 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ ; удельная теплоемкость воды  $c = 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{град}}$ .

### ОТВЕТЫ И ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ:

7.1. При впрыскивании пара в сосуд со льдом лёд тает (поглощение тепла), пар конденсируется при  $100^\circ\text{C}$  (тепло выделяется), вода, получившаяся при конденсации пара, охлаждается до  $0^\circ\text{C}$  (тепло выделяется). Запишем уравнение теплового баланса

$$m\lambda = M_{\text{min}}(r + c \cdot \Delta t).$$

Из записанного соотношения определяем массу пара  $M_{\text{min}}$

$$M_{\text{min}} = \frac{m\lambda}{r + c \cdot \Delta t};$$

$$M_{\text{min}} = 12,2 \text{ г}.$$

Таким способом определяется минимальная масса пара, которая необходима для таяния льда.

Если не учитывается охлаждение воды, получившейся при конденсации пара, то масса пара не будет минимальной, она определяется из следующего уравнения теплового баланса

$$m\lambda = Mr;$$

$$M = \frac{m\lambda}{r}; \quad M = 14,35 \text{ г.}$$

1	Записано уравнение теплового баланса с учетом охлаждения воды, получившейся при конденсации пара	1 балл
2	Получен правильный ответ (формула – 1 балл, значение - 1 балл)	2 балла
3	В том случае, если найдена не минимальная масса пара, то ставится не более 1 балла	Не более 1 балла

6.2. При впрыскивании пара в сосуд со льдом он будет конденсироваться при  $100^{\circ}\text{C}$  (тепло выделяется), лед будет таять (поглощение тепла), воду, получившуюся при его таянии надо будет нагреть до  $100^{\circ}\text{C}$ (поглощение тепла). Запишем уравнение теплового баланса в этом случае

$$m\lambda + mc \cdot \Delta t = Mr.$$

Определим массу пара, необходимую для этого

$$M = \frac{m(\lambda + c \cdot \Delta t)}{r};$$

$$M = 32,6 \text{ г.}$$

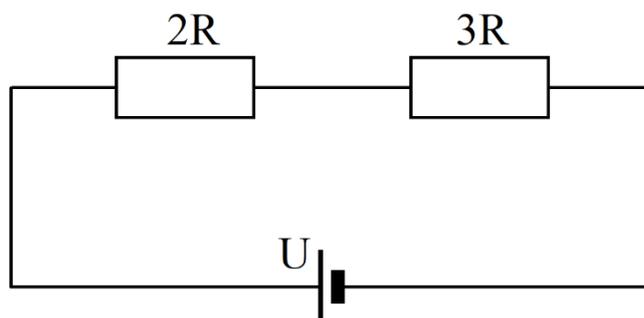
1	Записано уравнение теплового баланса	1 балл
2	Получен правильный ответ (формула – 0,5 баллов, значение – 0,5 баллов)	1 балл

### 8. Электрическая цепь (5 баллов)

Резисторы с сопротивлениями  $2R$  и  $3R$  соединены последовательно и подключены к источнику постоянного напряжения  $U$ .

8.1. Найдите полное сопротивление и силу тока в цепи. (2 балла)

8.2. Найдите мощность, выделяющуюся на резисторе с сопротивлением  $2R$ . (3 балла)



#### ОТВЕТЫ И ВОЗМОЖНЫЕ РЕШЕНИЯ:

8.1. Полное сопротивление цепи равно  $5R$ . Сила тока в цепи

$$I = \frac{U}{5R}.$$

1	Найдено полное сопротивление цепи	1 балл
2	Найдена сила тока	1 балл

8.2. Через резистор  $2R$  протекает ток  $I$ , поэтому мощность, выделяющаяся в нем, равна

$$N_{2R} = I^2 \cdot 2R = \frac{2U^2}{25R}.$$

1	Записано любое выражение для мощности тока для нужного сопротивления	1 балл
2	Найдена мощность	2 балла