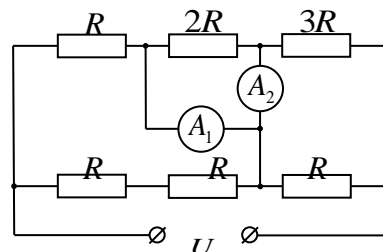


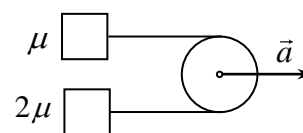
**Решения и критерии оценивания**  
**Заключительный тур олимпиады Росатом, физика, 9 класс**  
**международный комплект**  
**2019-2020 учебный год**

1. В цепи, схема которой представлена на рисунке, сопротивление  $R=1$  кОм, амперметры сопротивлений не имеют, напряжение на зажимах источника  $U=220$  В. Значения всех сопротивлений приведены на схеме. Найти показания амперметров. Сопротивлением подводящих проводов пренебречь.



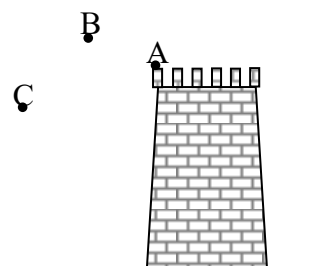
2. Три машины одновременно выехали из города А в город В и ехали по одной дороге с постоянными скоростями. Скорость первой машины была  $v$ , второй -  $2v/3$ . Известно, что первая машина приехала в город В, когда часы показывали  $t$  часов, вторая – когда часы показывали  $t+1$  часов, третья – когда часы показывали  $t+2$  часов. Найти скорость третьей машины.

3. На шероховатой горизонтальной поверхности покоятся два бруска с одинаковой массой  $m$ . Коэффициенты трения брусков о поверхность равны  $\mu$  и  $2\mu$ . К брускам привязана веревка, которая переброшена через легкий горизонтально расположенный блок (см. рисунок; вид сверху). Какое минимальное горизонтальное ускорение  $\vec{a}$  нужно сообщить блоку, чтобы оба бруска стронулись с места?



4. В результате протекания по цилиндрическому проводнику электрического тока, температура проводника увеличилась на  $\Delta T=10^\circ\text{C}$  по сравнению с температурой окружающей среды и далее не увеличивалась. Затем проводник отключили от источника, отрезали  $1/10$  часть его длины и подключили к тому же источнику напряжения. Насколько в этот раз его температура будет превышать температуру окружающей среды? Считать, что удельное сопротивление проводника не зависит от температуры в рассматриваемых интервалах изменения температур.

5. С высокой башни под некоторым углом к горизонту бросили тело. Известны положения тела через интервалы времени  $\tau$  и  $2\tau$  после броска (см. рисунок; эти положения отмечены точками В и С). Известно также положение точки, откуда бросили тело (точка А). С помощью построения найти положение тела спустя интервал времени  $3\tau$  после броска. Считать, что в этот момент тело еще не упало на землю. Построение обосновать.



## Решения

1. Поскольку электрическое напряжение на сопротивлении  $2R$  в верхнем колене цепи равно нулю, это сопротивление можно выбросить. Поэтому данная электрическая цепь эквивалентна цепи, показанной на рисунке. Сопротивление первого (из параллельных одного  $R$  и двух последовательных  $R$ ) и второго (из параллельных  $3R$  и  $R$ ) находим по стандартным правилам

$$R_1 = \frac{2R}{3}, \quad R_2 = \frac{3R}{4}$$

Отношение напряжений на этих участках  $U_1$  и  $U_2$  равно отношению их сопротивлений (т.к. при последовательном соединении через них текут одинаковые токи). Поэтому

$$U_1 = \frac{8}{17}U, \quad U_2 = \frac{9}{17}U$$

Поэтому токи через первый и второй амперметры равны

$$I_1 = \frac{8U}{17R} = 0,104 \text{ А}, \quad I_2 = \frac{3U}{17R} = 0,039 \text{ А}$$

### Критерии оценки задачи

1. Правильное преобразование цепи с выбрасыванием из нее сопротивления  $2R$  – 0,5 балла,
  2. Правильное нахождение общих сопротивлений различных участков цепи, содержащих последовательно и параллельно соединенные резисторы – 0,5 балла,
  3. Правильно найдены напряжения на двух последовательных участках цепи – 0,5 балла,
  4. Правильно найдены токи через амперметры – 0,5 балла,
- Оценка за задачу находится как сумма оценок перечисленных пунктов. Максимальная оценка за задачу – 2 балла.

2. Применяя формулу «расстояние-время-скорость» к первой и второй машинам, получим

$$v(t - t_0) = \frac{2}{3}v(t + 1 - t_0)$$

где  $t_0$  - время выхода машин из города А. Отсюда

$$t_0 = t - 2$$

Теперь применяя ту же формулу к первой и третьей машинам, получим для скорости третьей машины  $v_3$

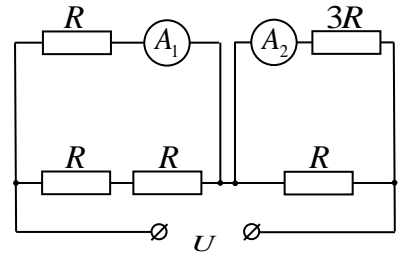
$$2v = 4v_3$$

Или

$$v_3 = \frac{v}{2}$$

### Критерии оценки задачи

1. Правильное использование формул «расстояние-время-скорость» – 0,5 балла,
2. Правильные уравнения движения для первой и второй машин – 0,5 балла,
3. Правильное нахождение времени выхода машин из города А – 0,5 балла,



4. Правильное уравнение движения для третьей машины и правильное нахождение ее скорости – 0,5 балла,

**Оценка за задачу находится как сумма оценок перечисленных пунктов. Максимальная оценка за задачу – 2 балла.**

3. Понятно, что при небольшом ускорении блока сила натяжения веревки будет небольшой и сможет сдвинуть только тело с меньшим трением. Второй же груз в этом случае будет стоять. При увеличении ускорения блока будет возрастать сила натяжения нити, и при определенном ускорении блока тело с большим трением сдвинется. Найдем этот момент, постепенно увеличивая ускорение блока.

Итак, пусть ускорение блока  $a$  таково, что тело с меньшим трением движется, а с большим – покоится. Тогда второй закон Ньютона для движущегося тела в проекциях на ось, направленную вдоль ускорения блока дает

$$ma_1 = T - \mu mg \quad (*)$$

где  $a_1$  - ускорение движущегося тела. Очевидно, что ускорение тела  $a_1$  вдвое превосходит ускорение блока  $a$ . Действительно, если блок перемещается на некоторую величину  $\Delta x$ , то с той стороны от блока, где находится покоящееся тело, требуется лишний кусочек веревки длиной  $\Delta x$ . Поэтому веревка с другой стороны становится короче на величину  $\Delta x$ . Кроме того, блок, от которого начинается веревка, привязанная ко второму телу, тоже перемещается на  $\Delta x$ . Следовательно, перемещение второго тела составляет  $2\Delta x$ , т.е. скорость второго тела вдвое больше скорости блока в любой момент времени. Поэтому и ускорение второго тела больше ускорения блока в два раза. В результате из (\*) имеем

$$T = 2ma + \mu mg \quad (**)$$

Из формулы (\*\*) следует, что при малом ускорении блока сила  $T$ , больше  $\mu mg$ , но меньше  $2\mu mg$ .

А поскольку при увеличении ускорения блока сила  $T$  возрастает, при некотором ускорении второе тело сдвинется с места. Это произойдет, если

$$T = 2ma + \mu mg \geq 2\mu mg \quad \Rightarrow \quad a \geq \mu g / 2$$

### Критерии оценки задачи

1. Правильная идея решения – использование уравнений динамики при том, что при минимальном ускорении  $a$ , когда оба груза стронулись с места, ускорение груза с большим трением равно нулю - 0,5 балла,

2. Правильная связь ускорения блока и ускорения тела с меньшим трением – 0,5 балла,

3. Правильные уравнения динамики и использование формулы для максимальной силы трения при движении или в момент начала движения – 0,5 балла,

4. Правильный ответ для ускорения блока – 0,5 балла

**Оценка за задачу находится как сумма оценок перечисленных пунктов. Максимальная оценка за задачу – 2 балла.**

4. В стационарном режиме (когда температура проводника не меняется с течением времени) количество теплоты, выделившееся в проводнике при протекании по нему электрического тока, равно количеству теплоты, отданному проводником в окружающую среду. А поскольку последняя величина

пропорциональна разности температур проводника и окружающей среды, а также площади его боковой поверхности, имеем

$$\frac{U^2}{r} = \kappa \Delta T S \quad (*)$$

где  $U$  - напряжение источника,  $r$  - сопротивление проводника,  $\kappa$  - коэффициент пропорциональности для мощности теплотерь,  $S$  - площадь боковой поверхности проводника.

Когда от проводника отрезали одну десятую часть его сопротивление и площадь боковой поверхности уменьшились на одну десятую. Поэтому условие теплового равновесия в этом случае дает

$$\frac{10U^2}{9r} = \kappa \Delta T_1 \frac{9}{10} S \quad (**)$$

Деля соотношение (\*) и (\*\*) друг на друга, найдем

$$\Delta T_1 = \frac{100}{81} \Delta T = 12,3^\circ \text{C}$$

### Критерии оценки задачи

1. Правильная идея решения – воспользоваться законом теплопроводности Фурье, при том, что в стационарном режиме количество отданного в окружающую среду тепла и количество тепла, выделившееся в проводнике равны друг другу - 0,5 балла,
2. Правильно использован законы Фурье и закон Джоуля-Ленца для первого случая – 0,5 балла,
3. Правильно использован закон Фурье и закон Джоуля-Ленца для второго случая – 0,5 балла,
4. Правильный ответ – 0,5 балла,

Оценка за задачу находится как сумма оценок перечисленных пунктов. Максимальная оценка за задачу – 2 балла.

### 5. Из законов равноускоренного движения имеем

$$\vec{R}(t) = \vec{R}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{g} t^2}{2} \quad (*)$$

где  $\vec{R}(t)$  - радиус-вектор тела относительно некоторой системы координат,  $\vec{R}_0$  - начальный радиус-вектор относительно той же системы координат. Помещая начало системы координат в точку А, получим из (\*)

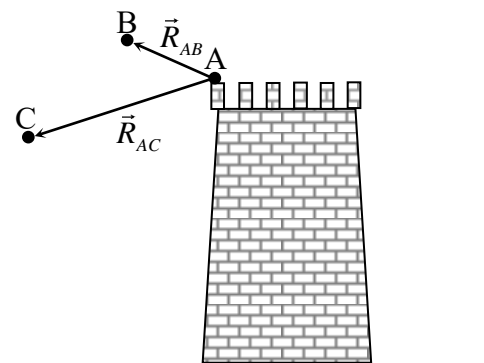
$$\begin{aligned} \vec{R}(\tau) &= \vec{R}_{AB} = \vec{v}_0 \tau + \frac{\vec{g} \tau^2}{2} \\ \vec{R}(2\tau) &= \vec{R}_{AC} = 2\vec{v}_0 \tau + 2\vec{g} \tau^2 \end{aligned} \quad (**)$$

Из системы (\*\*) находим

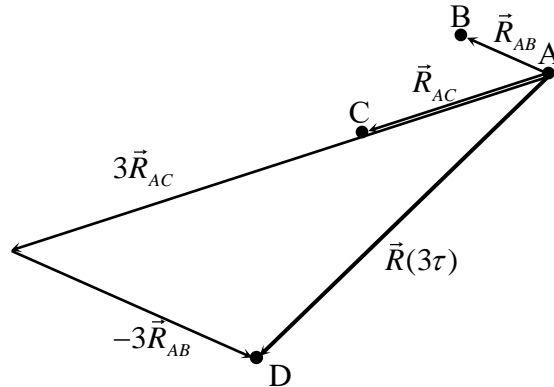
$$\frac{4\vec{R}_{AB} - \vec{R}_{AC}}{2} = \vec{v}_0 \tau \quad \vec{R}_{AC} - 2\vec{R}_{AB} = \vec{g} \tau^2$$

Используя теперь найденные векторы, получим

$$\vec{R}(3\tau) = 3\vec{v}_0 \tau + \frac{9}{2} \vec{g} \tau^2 = \frac{3(4\vec{R}_{AB} - \vec{R}_{AC})}{2} + \frac{9(\vec{R}_{AC} - 2\vec{R}_{AB})}{2} = 3(\vec{R}_{AC} - \vec{R}_{AB}) = 3\vec{R}_{AC} - 3\vec{R}_{AB}$$



Построение вектора  $\vec{R}(3\tau)$ , который определяет положение тела в момент времени  $3\tau$  после броска по отношению к точке А, и положение тела в этот момент (точка D) показаны на рисунке. Вектор  $3(\vec{R}_{AC} - \vec{R}_{AB})$  выделен жирным. Конечно построение вектора, соединяющего две точки, и его удлинение в три раза могут быть сделаны циркулем и линейкой.



Отметим, что существуют два ограничения на данные условия: точки А, В и С должны лежать в вертикальной плоскости, и расстояния между этими точками по горизонтали должны равняться друг другу. Первое связано с тем, что траектория тела, брошенного под углом к горизонту, лежит в вертикальной плоскости, и потому любые ее точки лежат в этой плоскости. Второе обусловлено тем, что горизонтальное движение тела, брошенного под углом к горизонту – равномерное, и за интервал времени  $2\tau$  тело проходит вдвое больший путь по горизонтали, чем за время  $\tau$ ). При невыполнении этих условий задача не имеет решения.

### Критерии оценки задачи

1. Правильная идея решения – использование векторного закона движения и правил сложения векторов для построения – 0,5 балла,
2. Правильно записаны законы движения для моментов  $\tau$  и  $2\tau$  – 0,5 балла,
3. Правильно найден вектор  $\vec{v}_0\tau$  и  $\vec{g}\tau^2$  – 0,5 балла,
4. Правильное построение искомого радиус-вектора и точки, в которой тело будет через время  $3\tau$  после броска – 0,5 балла,

Оценка за задачу находится как сумма оценок перечисленных пунктов. Максимальная оценка за задачу – 2 балла.