

# Московская олимпиада школьников по физике

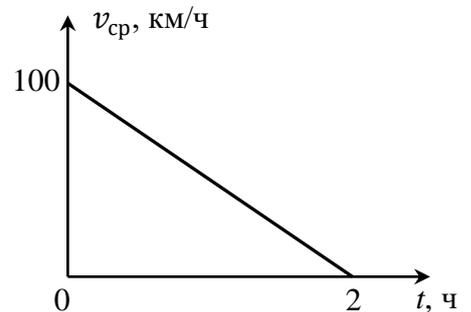
Очный нулевой тур

06-08 октября 2017

9 класс

## Вариант А

**Задача 1.** На графике приведена зависимость средней скорости  $v_{\text{ср}}$  автомобиля за все время движения от времени  $t$ . Найдите, в какой момент времени значение скорости по модулю было минимально. Какой путь проехал автомобиль? Движение автомобиля прямолинейное.



**Возможное решение.** Из графика следует, что

$$v_{\text{ср}} = 100 - 50t.$$

С другой стороны,

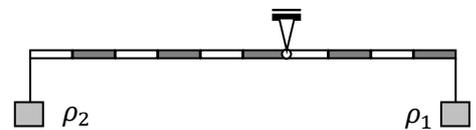
$$v_{\text{ср}} = \frac{x-x_0}{t} \Rightarrow x(t) = 100t - 50t^2 = 50t(2-t),$$

где  $x$  – координата автомобиля в момент времени  $t$ ,  $x_0$  – начальная координата, которую мы приняли равной нулю. График функции  $x(t)$  – парабола, и при  $t = 1$  ч имеет максимум (это говорит о том, что автомобиль развернулся). Значит, минимальное значение скорости по модулю равно 0 км/ч. За первый час автомобиль проехал  $x(1) = 100 - 50 = 50$  км. Следовательно, пройденный путь за 2 ч равен 100 км.

### Критерии оценивания.

- |  |         |
|--|---------|
| 1. $v_{\text{ср}} = 100 - 50t$         | 1 балл  |
| 2. $v_{\text{ср}} = \frac{x-x_0}{t}$   | 1 балл  |
| 3. $x(t) = 100t - 50t^2$               | 2 балла |
| 4. $v_{\text{мин}} = 0$ км/ч           | 4 балла |
| 5. Пройденный путь за 2 ч равен 100 км | 2 балла |

**Задача 2.** Два тела покоятся на невесомом стержне, как показано на рисунке. После того, как тела полностью погрузили в воду, для сохранения равновесия стержня их пришлось поменять местами. Найти плотности тел  $\rho_1$  и  $\rho_2$ , если  $\rho_2/\rho_1 = 2$ . Плотность воды равна  $1 \text{ г/см}^3$ .



**Возможное решение.** Запишем уравнение моментов относительно оси вращения стержня:

$$\rho_2 g V_2 \cdot 6a = \rho_1 g V_1 \cdot 4a \Rightarrow 3V_2 = V_1.$$

Запишем уравнение моментов для второго случая с учётом того, что на погруженные тела действует сила Архимеда:

$$g V_1 (\rho_1 - \rho_{\text{в}}) \cdot 6a = g V_2 (\rho_2 - \rho_{\text{в}}) \cdot 4a.$$

Решая систему уравнений, получаем  $\rho_1 = \frac{7}{5} \rho_{\text{в}} = 1,4 \text{ г/см}^3$ ,  $\rho_2 = \frac{14}{5} \rho_{\text{в}} = 2,8 \text{ г/см}^3$ .

### Критерии оценивания.

- |  |         |
|--|---------|
| 1. Указана точка, относительно которой записывается уравнение моментов | 1 балл  |
| 2. Уравнение моментов для первого случая                               | 3 балла |

- |  |         |
|--|---------|
| 3. Уравнение моментов для второго случая | 4 балла |
| 4. $\rho_1 = 1,4 \text{ г/см}^3$         | 1 балл  |
| 5. $\rho_2 = 2,8 \text{ г/см}^3$         | 1 балл  |

**Задача 3.** В калориметр налили  $m = 2 \text{ кг}$  воды, имеющей температуру  $t_1 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ , и добавили лёд при температуре  $t_2 = -20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Сколько могло быть добавлено льда, если после установления теплового равновесия температура содержимого калориметра оказалась равной  $t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ ?  $c_{\text{в}} = 4,2 \text{ кДж/кг}\cdot^\circ\text{C}$ ,  $c_{\text{л}} = 2,1 \text{ кДж/кг}\cdot^\circ\text{C}$ ,  $\lambda = 330 \text{ кДж/кг}$ . Теплоемкостью калориметра и потерями пренебречь.

**Возможное решение.** Рассмотрим вариант, когда весь лёд растаял. Запишем для этого случая уравнение теплового баланса:

$$Q_{\text{охл.воды}} + Q_{\text{плавл.льда}} + Q_{\text{нагр.льда}} = 0 \Rightarrow c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t - t_1) + \lambda m_{\text{л1}} + c_{\text{л}}m_{\text{л1}}(t - t_2) = 0.$$

Отсюда следует, что минимально возможная масса льда равна

$$m_{\text{л1}} = \frac{c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t_1 - t)}{\lambda + c_{\text{л}}(t - t_2)} = 1,13 \text{ кг.}$$

Рассмотрим теперь случай, когда вся вода замёрзла. Уравнение теплового баланса будет выглядеть следующим образом:

$$Q_{\text{охл.воды}} + Q_{\text{крист.воды}} + Q_{\text{нагр.льда}} = 0 \Rightarrow c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t - t_1) - \lambda m_{\text{в}} + c_{\text{л}}m_{\text{л2}}(t - t_2) = 0.$$

Значит, максимально возможная масса льда равна

$$m_{\text{л2}} = \frac{\lambda m_{\text{в}} - c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t - t_1)}{c_{\text{л}}(t - t_2)} = 25,71 \text{ кг.}$$

Окончательно получаем, что  $1,13 \text{ кг} \leq m_{\text{л}} \leq 25,71 \text{ кг}$ .

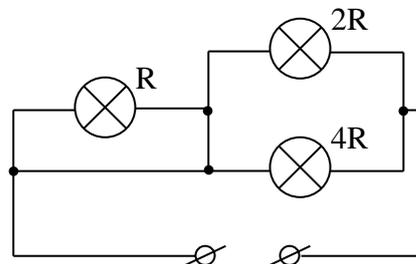
#### Критерии оценивания.

- |   |         |
|---|---------|
| 1. $Q_{\text{охл.воды}} + Q_{\text{плавл.льда}} + Q_{\text{нагр.льда}} = 0$                             | 2 балла |
| 2. $c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t - t_1) + \lambda m_{\text{л1}} + c_{\text{л}}m_{\text{л1}}(t - t_2) = 0$ | 2 балла |
| 3. $m_{\text{л1}} = 1,13 \text{ кг}$  | 1 балл  |
| 4. $Q_{\text{охл.воды}} + Q_{\text{крист.воды}} + Q_{\text{нагр.льда}} = 0$                             | 2 балла |
| 5. $c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t - t_1) - \lambda m_{\text{в}} + c_{\text{л}}m_{\text{л2}}(t - t_2) = 0$  | 2 балла |
| 6. $m_{\text{л2}} = 25,71 \text{ кг}$   | 1 балл  |

**Задача 4.** Какая из ламп будет потреблять бóльшую мощность (гореть ярче)? Решение задачи должно содержать достаточно подробное объяснение полученного ответа.

#### Возможное решение.

Из рисунка видно, что лампочка сопротивлением  $R$  «закорочена», значит, в результате получается схема, состоящая из двух лампочек, соединённых параллельно.



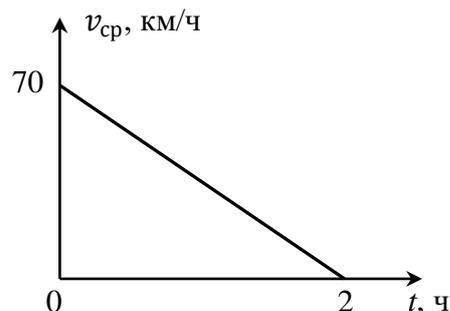
Из формулы  $P = \frac{U^2}{R}$  с учётом того, что напряжения на лампочках равны между собой, следует, что бóльшую мощность будет потреблять лампочка сопротивлением  $2R$ .

#### Критерии оценивания.

- |  |         |
|--|---------|
| 1. Определено и обосновано исключение лампы сопротивлением $R$ | 3 балла |
| 2. $P = \frac{U^2}{R}$   | 3 балла |
| 3. Напряжения на лампочках $2R$ и $4R$ равны между собой       | 2 балла |
| 4. Бóльшую мощность потребляет лампочка сопротивлением $2R$    | 2 балла |

## Вариант В

**Задача 1.** На графике приведена зависимость средней скорости  $v_{\text{ср}}$  автомобиля за все время движения от времени  $t$ . Найдите, в какой момент времени значение скорости по модулю было минимально. Какой путь проехал автомобиль? Движение автомобиля прямолинейное.



**Возможное решение.** Из графика следует, что

$$v_{\text{ср}} = 70 - 35t.$$

С другой стороны,

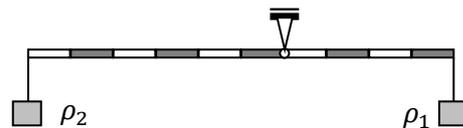
$$v_{\text{ср}} = \frac{x-x_0}{t} \Rightarrow x(t) = 70t - 35t^2 = 35t(2-t),$$

где  $x$  – координата автомобиля в момент времени  $t$ ,  $x_0$  – начальная координата, которую мы приняли равной нулю. График функции  $x(t)$  – парабола, и при  $t = 1$  ч имеет максимум (это говорит о том, что автомобиль развернулся). Значит, минимальное значение скорости по модулю равно 0 км/ч. За первый час автомобиль проехал  $x(1) = 70 - 35 = 35$  км. Следовательно, пройденный путь за 2 ч равен 70 км.

### Критерии оценивания.

- |                                       |         |
|---------------------------------------|---------|
| 1. $v_{\text{ср}} = 70 - 35t$         | 1 балл  |
| 2. $v_{\text{ср}} = \frac{x-x_0}{t}$  | 1 балл  |
| 3. $x(t) = 70t - 35t^2$               | 2 балла |
| 4. $v_{\text{мин}} = 0$ км/ч          | 4 балла |
| 5. Пройденный путь за 2 ч равен 70 км | 2 балла |

**Задача 2.** Два тела покоятся на невесомом стержне, как показано на рисунке. После того, как тела полностью погрузили в воду, для сохранения равновесия стержня их пришлось поменять местами. Найти плотности тел  $\rho_1$  и  $\rho_2$ , если  $\rho_2/\rho_1 = 3$ . Плотность воды равна 1 г/см<sup>3</sup>.



**Возможное решение.** Запишем уравнение моментов относительно оси вращения стержня:

$$\rho_2 g V_2 \cdot 6a = \rho_1 g V_1 \cdot 4a \Rightarrow 4,5V_2 = V_1.$$

Запишем уравнение моментов для второго случая с учётом того, что на погруженные тела действует сила Архимеда:

$$gV_1(\rho_1 - \rho_{\text{в}}) \cdot 6a = gV_2(\rho_2 - \rho_{\text{в}}) \cdot 4a.$$

Решая систему уравнений, получаем  $\rho_1 = \frac{23}{15}\rho_{\text{в}} = 1,53$  г/см<sup>3</sup>,  $\rho_2 = \frac{69}{15}\rho_{\text{в}} = 4,60$  г/см<sup>3</sup>.

### Критерии оценивания.

- |  |         |
|--|---------|
| 1. Указана точка, относительно которой записывается уравнение моментов | 1 балл  |
| 2. Уравнение моментов для первого случая                               | 3 балла |
| 3. Уравнение моментов для второго случая                               | 4 балла |
| 4. $\rho_1 = 1,53$ г/см <sup>3</sup>                                   | 1 балл  |
| 5. $\rho_2 = 4,60$ г/см <sup>3</sup>                                   | 1 балл  |

**Задача 3.** В калориметр налили  $m = 2$  кг воды, имеющей температуру  $t_1 = 50$  °С, и добавили лед при температуре  $t_2 = -20$  °С. Сколько могло быть добавлено льда, если после установления теплового равновесия температура содержимого калориметра оказалась

равной  $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?  $c_{\text{в}} = 4,2\text{ кДж/кг}\cdot^{\circ}\text{C}$ ,  $c_{\text{л}} = 2,1\text{ кДж/кг}\cdot^{\circ}\text{C}$ ,  $\lambda = 330\text{ кДж/кг}$ . Теплоемкостью калориметра и потерями пренебречь.

**Возможное решение.** Рассмотрим вариант, когда весь лёд растаял. Запишем для этого случая уравнение теплового баланса:

$$Q_{\text{охл.воды}} + Q_{\text{плавл.льда}} + Q_{\text{нагр.льда}} = 0 \Rightarrow c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t - t_1) + \lambda m_{\text{л1}} + c_{\text{л}}m_{\text{л1}}(t - t_2) = 0.$$

Отсюда следует, что минимально возможная масса льда равна

$$m_{\text{л1}} = \frac{c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t_1 - t)}{\lambda + c_{\text{л}}(t - t_2)} = 1,13\text{ кг}.$$

Рассмотрим теперь случай, когда вся вода замёрзла. Уравнение теплового баланса будет выглядеть следующим образом:

$$Q_{\text{охл.воды}} + Q_{\text{крист.воды}} + Q_{\text{нагр.льда}} = 0 \Rightarrow c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t - t_1) - \lambda m_{\text{в}} + c_{\text{л}}m_{\text{л2}}(t - t_2) = 0.$$

Значит, максимально возможная масса льда равна

$$m_{\text{л2}} = \frac{\lambda m_{\text{в}} - c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t - t_1)}{c_{\text{л}}(t - t_2)} = 25,71\text{ кг}.$$

Окончательно получаем, что  $1,13\text{ кг} \leq m_{\text{л}} \leq 25,71\text{ кг}$ .

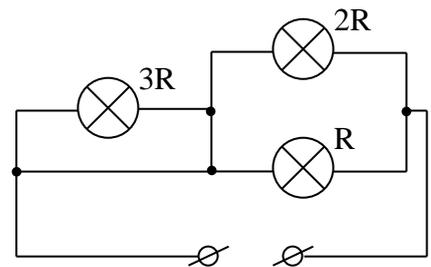
#### Критерии оценивания.

- |   |         |
|---|---------|
| 1. $Q_{\text{охл.воды}} + Q_{\text{плавл.льда}} + Q_{\text{нагр.льда}} = 0$                             | 2 балла |
| 2. $c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t - t_1) + \lambda m_{\text{л1}} + c_{\text{л}}m_{\text{л1}}(t - t_2) = 0$ | 2 балла |
| 3. $m_{\text{л1}} = 1,13\text{ кг}$   | 1 балл  |
| 4. $Q_{\text{охл.воды}} + Q_{\text{крист.воды}} + Q_{\text{нагр.льда}} = 0$                             | 2 балла |
| 5. $c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t - t_1) - \lambda m_{\text{в}} + c_{\text{л}}m_{\text{л2}}(t - t_2) = 0$  | 2 балла |
| 6. $m_{\text{л2}} = 25,71\text{ кг}$  | 1 балл  |

**Задача 4.** Какая из ламп будет потреблять бóльшую мощность (гореть ярче)? Решение задачи должно содержать достаточно подробное объяснение полученного ответа.

#### Возможное решение.

Из рисунка видно, что лампочка сопротивлением  $3R$  «закорочена», значит, в результате получается схема, состоящая из двух лампочек, соединённых параллельно.



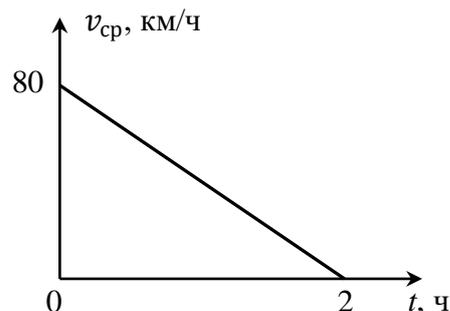
Из формулы  $P = \frac{U^2}{R}$  с учётом того, что напряжения на лампочках равны между собой, следует, что бóльшую мощность будет потреблять лампочка сопротивлением  $R$ .

#### Критерии оценивания.

- |   |         |
|---|---------|
| 1. Определено и обосновано исключение лампы сопротивлением $3R$ | 3 балла |
| 2. $P = \frac{U^2}{R}$  | 3 балла |
| 3. Напряжения на лампочках $R$ и $2R$ равны между собой         | 2 балла |
| 4. Бóльшую мощность потребляет лампочка сопротивлением $R$      | 2 балла |

### Вариант С

**Задача 1.** На графике приведена зависимость средней скорости  $v_{\text{ср}}$  автомобиля за все время движения от времени  $t$ . Найдите, в какой момент времени значение скорости по модулю было минимально. Какой путь проехал автомобиль? Движение автомобиля прямолинейное.



**Возможное решение.** Из графика следует, что

$$v_{\text{ср}} = 80 - 40t.$$

С другой стороны,

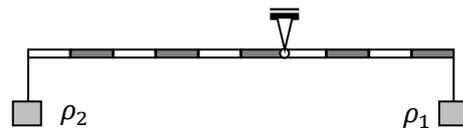
$$v_{\text{ср}} = \frac{x-x_0}{t} \Rightarrow x(t) = 80t - 40t^2 = 40t(2-t),$$

где  $x$  – координата автомобиля в момент времени  $t$ ,  $x_0$  – начальная координата, которую мы приняли равной нулю. График функции  $x(t)$  – парабола, и при  $t = 1$  ч имеет максимум (это говорит о том, что автомобиль развернулся). Значит, минимальное значение скорости по модулю равно 0 км/ч. За первый час автомобиль проехал  $x(1) = 80 - 40 = 40$  км. Следовательно, пройденный путь за 2 ч равен 80 км.

#### Критерии оценивания.

- |                                       |         |
|---------------------------------------|---------|
| 1. $v_{\text{ср}} = 80 - 40t$         | 1 балл  |
| 2. $v_{\text{ср}} = \frac{x-x_0}{t}$  | 1 балл  |
| 3. $x(t) = 80t - 40t^2$               | 2 балла |
| 4. $v_{\text{мин}} = 0$ км/ч          | 4 балла |
| 5. Пройденный путь за 2 ч равен 80 км | 2 балла |

**Задача 2.** Два тела покоятся на невесомом стержне, как показано на рисунке. После того, как тела полностью погрузили в воду, для сохранения равновесия стержня их пришлось поменять местами. Найти плотности тел  $\rho_1$  и  $\rho_2$ , если  $\rho_2/\rho_1 = 4$ . Плотность воды равна 1 г/см<sup>3</sup>.



**Возможное решение.** Запишем уравнение моментов относительно оси вращения стержня:

$$\rho_2 g V_2 \cdot 6a = \rho_1 g V_1 \cdot 4a \Rightarrow 6V_2 = V_1.$$

Запишем уравнение моментов для второго случая с учётом того, что на погруженные тела действует сила Архимеда:

$$g V_1 (\rho_1 - \rho_{\text{в}}) \cdot 6a = g V_2 (\rho_2 - \rho_{\text{в}}) \cdot 4a.$$

Решая систему уравнений, получаем  $\rho_1 = \frac{4}{3} \rho_{\text{в}} = 1,33$  г/см<sup>3</sup>,  $\rho_2 = \frac{16}{3} \rho_{\text{в}} = 5,33$  г/см<sup>3</sup>.

#### Критерии оценивания.

- |  |         |
|--|---------|
| 1. Указана точка, относительно которой записывается уравнение моментов | 1 балл  |
| 2. Уравнение моментов для первого случая                               | 3 балла |
| 3. Уравнение моментов для второго случая                               | 4 балла |
| 4. $\rho_1 = 1,33$ г/см <sup>3</sup>                                   | 1 балл  |
| 5. $\rho_2 = 5,33$ г/см <sup>3</sup>                                   | 1 балл  |

**Задача 3.** В калориметр налили  $m = 2$  кг воды, имеющей температуру  $t_1 = 50$  °С, и добавили лед при температуре  $t_2 = -20$  °С. Сколько могло быть добавлено льда, если после установления теплового равновесия температура содержимого калориметра оказалась

равной  $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?  $c_{\text{в}} = 4,2\text{ кДж/кг}\cdot^{\circ}\text{C}$ ,  $c_{\text{л}} = 2,1\text{ кДж/кг}\cdot^{\circ}\text{C}$ ,  $\lambda = 330\text{ кДж/кг}$ . Теплоемкостью калориметра и потерями пренебречь.

**Возможное решение.** Рассмотрим вариант, когда весь лёд растаял. Запишем для этого случая уравнение теплового баланса:

$$Q_{\text{охл.воды}} + Q_{\text{плавл.льда}} + Q_{\text{нагр.льда}} = 0 \Rightarrow c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t - t_1) + \lambda m_{\text{л1}} + c_{\text{л}}m_{\text{л1}}(t - t_2) = 0.$$

Отсюда следует, что минимально возможная масса льда равна

$$m_{\text{л1}} = \frac{c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t_1 - t)}{\lambda + c_{\text{л}}(t - t_2)} = 1,13\text{ кг.}$$

Рассмотрим теперь случай, когда вся вода замёрзла. Уравнение теплового баланса будет выглядеть следующим образом:

$$Q_{\text{охл.воды}} + Q_{\text{крист.воды}} + Q_{\text{нагр.льда}} = 0 \Rightarrow c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t - t_1) - \lambda m_{\text{в}} + c_{\text{л}}m_{\text{л2}}(t - t_2) = 0.$$

Значит, максимально возможная масса льда равна

$$m_{\text{л2}} = \frac{\lambda m_{\text{в}} - c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t - t_1)}{c_{\text{л}}(t - t_2)} = 25,71\text{ кг.}$$

Окончательно получаем, что  $1,13\text{ кг} \leq m_{\text{л}} \leq 25,71\text{ кг}$ .

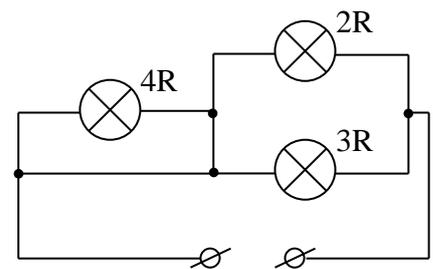
#### Критерии оценивания.

- |   |         |
|---|---------|
| 1. $Q_{\text{охл.воды}} + Q_{\text{плавл.льда}} + Q_{\text{нагр.льда}} = 0$                             | 2 балла |
| 2. $c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t - t_1) + \lambda m_{\text{л1}} + c_{\text{л}}m_{\text{л1}}(t - t_2) = 0$ | 2 балла |
| 3. $m_{\text{л1}} = 1,13\text{ кг}$   | 1 балл  |
| 4. $Q_{\text{охл.воды}} + Q_{\text{крист.воды}} + Q_{\text{нагр.льда}} = 0$                             | 2 балла |
| 5. $c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t - t_1) - \lambda m_{\text{в}} + c_{\text{л}}m_{\text{л2}}(t - t_2) = 0$  | 2 балла |
| 6. $m_{\text{л2}} = 25,71\text{ кг}$  | 1 балл  |

**Задача 4.** Какая из ламп будет потреблять бóльшую мощность (гореть ярче)? Решение задачи должно содержать достаточно подробное объяснение полученного ответа.

#### Возможное решение.

Из рисунка видно, что лампочка сопротивлением  $4R$  «закорочена», значит, в результате получается схема, состоящая из двух лампочек, соединённых параллельно.



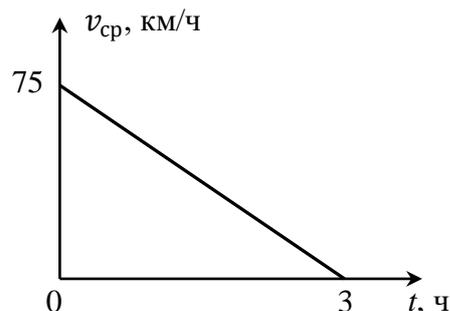
Из формулы  $P = \frac{U^2}{R}$  с учётом того, что напряжения на лампочках равны между собой, следует, что бóльшую мощность будет потреблять лампочка сопротивлением  $2R$ .

#### Критерии оценивания.

- |   |         |
|---|---------|
| 1. Определено и обосновано исключение лампы сопротивлением $4R$ | 3 балла |
| 2. $P = \frac{U^2}{R}$  | 3 балла |
| 3. Напряжения на лампочках $2R$ и $3R$ равны между собой        | 2 балла |
| 4. Бóльшую мощность потребляет лампочка сопротивлением $2R$     | 2 балла |

### Вариант D

**Задача 1.** На графике приведена зависимость средней скорости  $v_{\text{ср}}$  автомобиля за все время движения от времени  $t$ . Найдите, в какой момент времени значение скорости по модулю было минимально. Какой путь проехал автомобиль? Движение автомобиля прямолинейное.



**Возможное решение.** Из графика следует, что

$$v_{\text{ср}} = 75 - 25t.$$

С другой стороны,

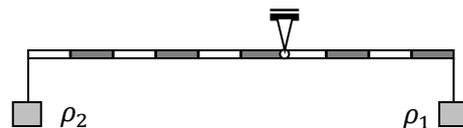
$$v_{\text{ср}} = \frac{x-x_0}{t} \Rightarrow x(t) = 75t - 25t^2 = 25t(3-t),$$

где  $x$  – координата автомобиля в момент времени  $t$ ,  $x_0$  – начальная координата, которую мы приняли равной нулю. График функции  $x(t)$  – парабола, и при  $t = 1,5$  ч имеет максимум (это говорит о том, что автомобиль развернулся). Значит, минимальное значение скорости по модулю равно 0 км/ч. За первые полтора часа автомобиль проехал  $x(1,5) = 25 \cdot 1,5 \cdot 1,5 = 56,25$  км. Следовательно, пройденный путь за 3 ч равен 112,5 км.

**Критерии оценивания.**

- |  |         |
|--|---------|
| 1. $v_{\text{ср}} = 75 - 25t$            | 1 балл  |
| 2. $v_{\text{ср}} = \frac{x-x_0}{t}$     | 1 балл  |
| 3. $x(t) = 75t - 25t^2$                  | 2 балла |
| 4. $v_{\text{мин}} = 0$ км/ч             | 4 балла |
| 5. Пройденный путь за 3 ч равен 112,5 км | 2 балла |

**Задача 2.** Два тела покоятся на невесомом стержне, как показано на рисунке. После того, как тела полностью погрузили в воду, для сохранения равновесия стержня их пришлось поменять местами. Найти плотности тел  $\rho_1$  и  $\rho_2$ , если  $\rho_2/\rho_1 = 1,5$ . Плотность воды равна 1 г/см<sup>3</sup>.



**Возможное решение.** Запишем уравнение моментов относительно оси вращения стержня:

$$\rho_2 g V_2 \cdot 6a = \rho_1 g V_1 \cdot 4a \Rightarrow 9V_2 = 4V_1.$$

Запишем уравнение моментов для второго случая с учётом того, что на погруженные тела действует сила Архимеда:

$$gV_1(\rho_1 - \rho_{\text{в}}) \cdot 6a = gV_2(\rho_2 - \rho_{\text{в}}) \cdot 4a.$$

Решая систему уравнений, получаем  $\rho_1 = \frac{19}{15}\rho_{\text{в}} = 1,27$  г/см<sup>3</sup>,  $\rho_2 = \frac{57}{30}\rho_{\text{в}} = 1,90$  г/см<sup>3</sup>.

**Критерии оценивания.**

- |  |         |
|--|---------|
| 1. Указана точка, относительно которой записывается уравнение моментов | 1 балл  |
| 2. Уравнение моментов для первого случая                               | 3 балла |
| 3. Уравнение моментов для второго случая                               | 4 балла |
| 4. $\rho_1 = 1,27$ г/см <sup>3</sup>                                   | 1 балл  |
| 5. $\rho_2 = 1,90$ г/см <sup>3</sup>                                   | 1 балл  |

**Задача 3.** В калориметр налили  $m = 2$  кг воды, имеющей температуру  $t_1 = 50$  °С, и добавили лед при температуре  $t_2 = -20$  °С. Сколько могло быть добавлено льда, если после установления теплового равновесия температура содержимого калориметра оказалась

равной  $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?  $c_{\text{в}} = 4,2\text{ кДж/кг}\cdot^{\circ}\text{C}$ ,  $c_{\text{л}} = 2,1\text{ кДж/кг}\cdot^{\circ}\text{C}$ ,  $\lambda = 330\text{ кДж/кг}$ . Теплоемкостью калориметра и потерями пренебречь.

**Возможное решение.** Рассмотрим вариант, когда весь лёд растаял. Запишем для этого случая уравнение теплового баланса:

$$Q_{\text{охл.воды}} + Q_{\text{плавл.льда}} + Q_{\text{нагр.льда}} = 0 \Rightarrow c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t - t_1) + \lambda m_{\text{л1}} + c_{\text{л}}m_{\text{л1}}(t - t_2) = 0.$$

Отсюда следует, что минимально возможная масса льда равна

$$m_{\text{л1}} = \frac{c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t_1 - t)}{\lambda + c_{\text{л}}(t - t_2)} = 1,13\text{ кг.}$$

Рассмотрим теперь случай, когда вся вода замёрзла. Уравнение теплового баланса будет выглядеть следующим образом:

$$Q_{\text{охл.воды}} + Q_{\text{крист.воды}} + Q_{\text{нагр.льда}} = 0 \Rightarrow c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t - t_1) - \lambda m_{\text{в}} + c_{\text{л}}m_{\text{л2}}(t - t_2) = 0.$$

Значит, максимально возможная масса льда равна

$$m_{\text{л2}} = \frac{\lambda m_{\text{в}} - c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t - t_1)}{c_{\text{л}}(t - t_2)} = 25,71\text{ кг.}$$

Окончательно получаем, что  $1,13\text{ кг} \leq m_{\text{л}} \leq 25,71\text{ кг}$ .

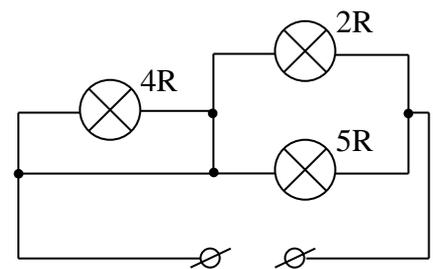
#### Критерии оценивания.

- |   |         |
|---|---------|
| 1. $Q_{\text{охл.воды}} + Q_{\text{плавл.льда}} + Q_{\text{нагр.льда}} = 0$                             | 2 балла |
| 2. $c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t - t_1) + \lambda m_{\text{л1}} + c_{\text{л}}m_{\text{л1}}(t - t_2) = 0$ | 2 балла |
| 3. $m_{\text{л1}} = 1,13\text{ кг}$   | 1 балл  |
| 4. $Q_{\text{охл.воды}} + Q_{\text{крист.воды}} + Q_{\text{нагр.льда}} = 0$                             | 2 балла |
| 5. $c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t - t_1) - \lambda m_{\text{в}} + c_{\text{л}}m_{\text{л2}}(t - t_2) = 0$  | 2 балла |
| 6. $m_{\text{л2}} = 25,71\text{ кг}$  | 1 балл  |

**Задача 4.** Какая из ламп будет потреблять бóльшую мощность (гореть ярче)? Решение задачи должно содержать достаточно подробное объяснение полученного ответа.

#### Возможное решение.

Из рисунка видно, что лампочка сопротивлением  $4R$  «закорочена», значит, в результате получается схема, состоящая из двух лампочек, соединённых параллельно.



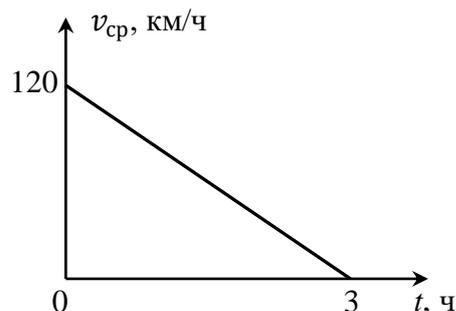
Из формулы  $P = \frac{U^2}{R}$  с учётом того, что напряжения на лампочках равны между собой, следует, что бóльшую мощность будет потреблять лампочка сопротивлением  $2R$ .

#### Критерии оценивания.

- |   |         |
|---|---------|
| 1. Определено и обосновано исключение лампы сопротивлением $4R$ | 3 балла |
| 2. $P = \frac{U^2}{R}$  | 3 балла |
| 3. Напряжения на лампочках $2R$ и $5R$ равны между собой        | 2 балла |
| 4. Бóльшую мощность потребляет лампочка сопротивлением $2R$     | 2 балла |

### Вариант Е

**Задача 1.** На графике приведена зависимость средней скорости  $v_{\text{ср}}$  автомобиля за все время движения от времени  $t$ . Найдите, в какой момент времени значение скорости по модулю было минимально. Какой путь проехал автомобиль? Движение автомобиля прямолинейное.



**Возможное решение.** Из графика следует, что

$$v_{\text{ср}} = 120 - 40t.$$

С другой стороны,

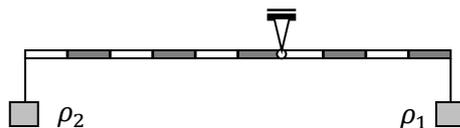
$$v_{\text{ср}} = \frac{x-x_0}{t} \Rightarrow x(t) = 120t - 40t^2 = 40t(3 - t),$$

где  $x$  — координата автомобиля в момент времени  $t$ ,  $x_0$  — начальная координата, которую мы приняли равной нулю. График функции  $x(t)$  — парабола, и при  $t = 1,5$  ч имеет максимум (это говорит о том, что автомобиль развернулся). Значит, минимальное значение скорости по модулю равно 0 км/ч. За первые полтора часа автомобиль проехал  $x(1,5) = 40 \cdot 1,5 \cdot 1,5 = 90$  км. Следовательно, пройденный путь за 3 ч равен 180 км.

#### Критерии оценивания.

- |  |         |
|--|---------|
| 1. $v_{\text{ср}} = 120 - 40t$         | 1 балл  |
| 2. $v_{\text{ср}} = \frac{x-x_0}{t}$   | 1 балл  |
| 3. $x(t) = 120t - 40t^2$               | 2 балла |
| 4. $v_{\text{мин}} = 0$ км/ч           | 4 балла |
| 5. Пройденный путь за 3 ч равен 180 км | 2 балла |

**Задача 2.** Два тела покоятся на невесомом стержне, как показано на рисунке. После того, как тела полностью погрузили в воду, для сохранения равновесия стержня их пришлось поменять местами. Найти плотности тел  $\rho_1$  и  $\rho_2$ , если  $\rho_2/\rho_1 = 2,5$ . Плотность воды равна  $1 \text{ г/см}^3$ .



**Возможное решение.** Запишем уравнение моментов относительно оси вращения стержня:

$$\rho_2 g V_2 \cdot 6a = \rho_1 g V_1 \cdot 4a \Rightarrow 15V_2 = 4V_1.$$

Запишем уравнение моментов для второго случая с учётом того, что на погруженные тела действует сила Архимеда:

$$gV_1(\rho_1 - \rho_{\text{в}}) \cdot 6a = gV_2(\rho_2 - \rho_{\text{в}}) \cdot 4a.$$

Решая систему уравнений, получаем  $\rho_1 = \frac{37}{25}\rho_{\text{в}} = 1,48 \text{ г/см}^3$ ,  $\rho_2 = \frac{37}{10}\rho_{\text{в}} = 3,70 \text{ г/см}^3$ .

#### Критерии оценивания.

- |  |         |
|--|---------|
| 1. Указана точка, относительно которой записывается уравнение моментов | 1 балл  |
| 2. Уравнение моментов для первого случая                               | 3 балла |
| 3. Уравнение моментов для второго случая                               | 4 балла |
| 4. $\rho_1 = 1,48 \text{ г/см}^3$                                      | 1 балл  |
| 5. $\rho_2 = 3,70 \text{ г/см}^3$                                      | 1 балл  |

**Задача 3.** В калориметр налили  $m = 2$  кг воды, имеющей температуру  $t_1 = 50$  °С, и добавили лед при температуре  $t_2 = -20$  °С. Сколько могло быть добавлено льда, если после установления теплового равновесия температура содержимого калориметра оказалась

равной  $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?  $c_{\text{в}} = 4,2\text{ кДж/кг}\cdot^{\circ}\text{C}$ ,  $c_{\text{л}} = 2,1\text{ кДж/кг}\cdot^{\circ}\text{C}$ ,  $\lambda = 330\text{ кДж/кг}$ . Теплоемкостью калориметра и потерями пренебречь.

**Возможное решение.** Рассмотрим вариант, когда весь лёд растаял. Запишем для этого случая уравнение теплового баланса:

$$Q_{\text{охл.воды}} + Q_{\text{плавл.льда}} + Q_{\text{нагр.льда}} = 0 \Rightarrow c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t - t_1) + \lambda m_{\text{л1}} + c_{\text{л}}m_{\text{л1}}(t - t_2) = 0.$$

Отсюда следует, что минимально возможная масса льда равна

$$m_{\text{л1}} = \frac{c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t_1 - t)}{\lambda + c_{\text{л}}(t - t_2)} = 1,13\text{ кг.}$$

Рассмотрим теперь случай, когда вся вода замёрзла. Уравнение теплового баланса будет выглядеть следующим образом:

$$Q_{\text{охл.воды}} + Q_{\text{крист.воды}} + Q_{\text{нагр.льда}} = 0 \Rightarrow c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t - t_1) - \lambda m_{\text{в}} + c_{\text{л}}m_{\text{л2}}(t - t_2) = 0.$$

Значит, максимально возможная масса льда равна

$$m_{\text{л2}} = \frac{\lambda m_{\text{в}} - c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t - t_1)}{c_{\text{л}}(t - t_2)} = 25,71\text{ кг.}$$

Окончательно получаем, что  $1,13\text{ кг} \leq m_{\text{л}} \leq 25,71\text{ кг}$ .

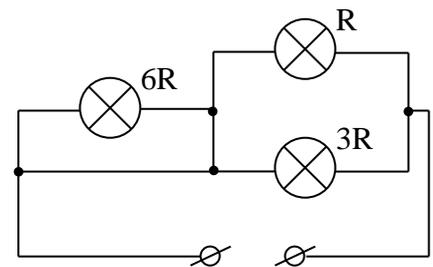
#### Критерии оценивания.

- |   |         |
|---|---------|
| 1. $Q_{\text{охл.воды}} + Q_{\text{плавл.льда}} + Q_{\text{нагр.льда}} = 0$                             | 2 балла |
| 2. $c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t - t_1) + \lambda m_{\text{л1}} + c_{\text{л}}m_{\text{л1}}(t - t_2) = 0$ | 2 балла |
| 3. $m_{\text{л1}} = 1,13\text{ кг}$   | 1 балл  |
| 4. $Q_{\text{охл.воды}} + Q_{\text{крист.воды}} + Q_{\text{нагр.льда}} = 0$                             | 2 балла |
| 5. $c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t - t_1) - \lambda m_{\text{в}} + c_{\text{л}}m_{\text{л2}}(t - t_2) = 0$  | 2 балла |
| 6. $m_{\text{л2}} = 25,71\text{ кг}$  | 1 балл  |

**Задача 4.** Какая из ламп будет потреблять бóльшую мощность (гореть ярче)? Решение задачи должно содержать достаточно подробное объяснение полученного ответа.

#### Возможное решение.

Из рисунка видно, что лампочка сопротивлением  $6R$  «закорочена», значит, в результате получается схема, состоящая из двух лампочек, соединённых параллельно.



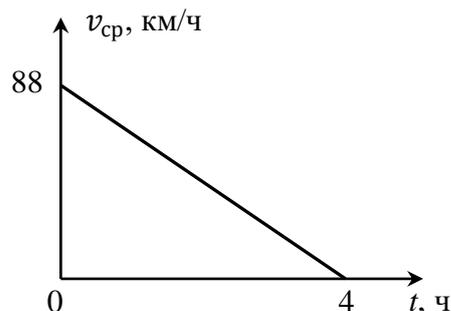
Из формулы  $P = \frac{U^2}{R}$  с учётом того, что напряжения на лампочках равны между собой, следует, что бóльшую мощность будет потреблять лампочка сопротивлением  $R$ .

#### Критерии оценивания.

- |   |         |
|---|---------|
| 1. Определено и обосновано исключение лампы сопротивлением $6R$ | 3 балла |
| 2. $P = \frac{U^2}{R}$  | 3 балла |
| 3. Напряжения на лампочках $R$ и $3R$ равны между собой         | 2 балла |
| 4. Бóльшую мощность потребляет лампочка сопротивлением $R$      | 2 балла |

### Вариант F

**Задача 1.** На графике приведена зависимость средней скорости  $v_{\text{ср}}$  автомобиля за все время движения от времени  $t$ . Найдите, в какой момент времени значение скорости по модулю было минимально. Какой путь проехал автомобиль? Движение автомобиля прямолинейное.



**Возможное решение.** Из графика следует, что

$$v_{\text{ср}} = 88 - 22t.$$

С другой стороны,

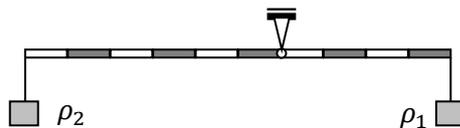
$$v_{\text{ср}} = \frac{x-x_0}{t} \Rightarrow x(t) = 88t - 22t^2 = 22t(4-t),$$

где  $x$  – координата автомобиля в момент времени  $t$ ,  $x_0$  – начальная координата, которую мы приняли равной нулю. График функции  $x(t)$  – парабола, и при  $t = 2$  ч имеет максимум (это говорит о том, что автомобиль развернулся). Значит, минимальное значение скорости по модулю равно 0 км/ч. За первые два часа автомобиль проехал  $x(2) = 22 \cdot 2 \cdot 2 = 88$  км. Следовательно, пройденный путь за 4 ч равен 176 км.

#### Критерии оценивания.

- |  |         |
|--|---------|
| 1. $v_{\text{ср}} = 88 - 22t$          | 1 балл  |
| 2. $v_{\text{ср}} = \frac{x-x_0}{t}$   | 1 балл  |
| 3. $x(t) = 88t - 22t^2$                | 2 балла |
| 4. $v_{\text{мин}} = 0$ км/ч           | 4 балла |
| 5. Пройденный путь за 4 ч равен 176 км | 2 балла |

**Задача 2.** Два тела покоятся на невесомом стержне, как показано на рисунке. После того, как тела полностью погрузили в воду, для сохранения равновесия стержня их пришлось поменять местами. Найти плотности тел  $\rho_1$  и  $\rho_2$ , если  $\rho_2/\rho_1 = 5$ . Плотность воды равна  $1 \text{ г/см}^3$ .



**Возможное решение.** Запишем уравнение моментов относительно оси вращения стержня:

$$\rho_2 g V_2 \cdot 6a = \rho_1 g V_1 \cdot 4a \Rightarrow 7,5V_2 = V_1.$$

Запишем уравнение моментов для второго случая с учётом того, что на погруженные тела действует сила Архимеда:

$$gV_1(\rho_1 - \rho_{\text{в}}) \cdot 6a = gV_2(\rho_2 - \rho_{\text{в}}) \cdot 4a.$$

Решая систему уравнений, получаем  $\rho_1 = \frac{41}{25}\rho_{\text{в}} = 1,64 \text{ г/см}^3$ ,  $\rho_2 = \frac{41}{5}\rho_{\text{в}} = 8,20 \text{ г/см}^3$ .

#### Критерии оценивания.

- |  |         |
|--|---------|
| 1. Указана точка, относительно которой записывается уравнение моментов | 1 балл  |
| 2. Уравнение моментов для первого случая                               | 3 балла |
| 3. Уравнение моментов для второго случая                               | 4 балла |
| 4. $\rho_1 = 1,64 \text{ г/см}^3$                                      | 1 балл  |
| 5. $\rho_2 = 8,20 \text{ г/см}^3$                                      | 1 балл  |

**Задача 3.** В калориметр налили  $m = 2$  кг воды, имеющей температуру  $t_1 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ , и добавили лед при температуре  $t_2 = -20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Сколько могло быть добавлено льда, если после установления теплового равновесия температура содержимого калориметра оказалась

равной  $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?  $c_{\text{в}} = 4,2\text{ кДж/кг}\cdot^{\circ}\text{C}$ ,  $c_{\text{л}} = 2,1\text{ кДж/кг}\cdot^{\circ}\text{C}$ ,  $\lambda = 330\text{ кДж/кг}$ . Теплоемкостью калориметра и потерями пренебречь.

**Возможное решение.** Рассмотрим вариант, когда весь лёд растаял. Запишем для этого случая уравнение теплового баланса:

$$Q_{\text{охл.воды}} + Q_{\text{плавл.льда}} + Q_{\text{нагр.льда}} = 0 \Rightarrow c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t - t_1) + \lambda m_{\text{л1}} + c_{\text{л}}m_{\text{л1}}(t - t_2) = 0.$$

Отсюда следует, что минимально возможная масса льда равна

$$m_{\text{л1}} = \frac{c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t_1 - t)}{\lambda + c_{\text{л}}(t - t_2)} = 1,13\text{ кг.}$$

Рассмотрим теперь случай, когда вся вода замёрзла. Уравнение теплового баланса будет выглядеть следующим образом:

$$Q_{\text{охл.воды}} + Q_{\text{крист.воды}} + Q_{\text{нагр.льда}} = 0 \Rightarrow c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t - t_1) - \lambda m_{\text{в}} + c_{\text{л}}m_{\text{л2}}(t - t_2) = 0.$$

Значит, максимально возможная масса льда равна

$$m_{\text{л2}} = \frac{\lambda m_{\text{в}} - c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t - t_1)}{c_{\text{л}}(t - t_2)} = 25,71\text{ кг.}$$

Окончательно получаем, что  $1,13\text{ кг} \leq m_{\text{л}} \leq 25,71\text{ кг}$ .

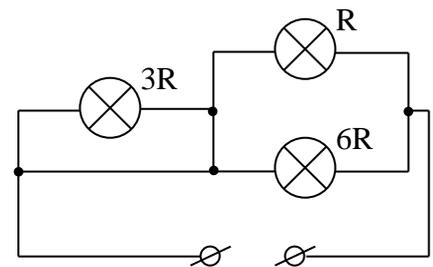
#### Критерии оценивания.

- |   |         |
|---|---------|
| 1. $Q_{\text{охл.воды}} + Q_{\text{плавл.льда}} + Q_{\text{нагр.льда}} = 0$                             | 2 балла |
| 2. $c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t - t_1) + \lambda m_{\text{л1}} + c_{\text{л}}m_{\text{л1}}(t - t_2) = 0$ | 2 балла |
| 3. $m_{\text{л1}} = 1,13\text{ кг}$   | 1 балл  |
| 4. $Q_{\text{охл.воды}} + Q_{\text{крист.воды}} + Q_{\text{нагр.льда}} = 0$                             | 2 балла |
| 5. $c_{\text{в}}m_{\text{в}}(t - t_1) - \lambda m_{\text{в}} + c_{\text{л}}m_{\text{л2}}(t - t_2) = 0$  | 2 балла |
| 6. $m_{\text{л2}} = 25,71\text{ кг}$  | 1 балл  |

**Задача 4.** Какая из ламп будет потреблять бóльшую мощность (гореть ярче)? Решение задачи должно содержать достаточно подробное объяснение полученного ответа.

#### Возможное решение.

Из рисунка видно, что лампочка сопротивлением  $3R$  «закорочена», значит, в результате получается схема, состоящая из двух лампочек, соединённых параллельно.



Из формулы  $P = \frac{U^2}{R}$  с учётом того, что напряжения на лампочках равны между собой, следует, что бóльшую мощность будет потреблять лампочка сопротивлением  $R$ .

#### Критерии оценивания.

- |   |         |
|---|---------|
| 1. Определено и обосновано исключение лампы сопротивлением $3R$ | 3 балла |
| 2. $P = \frac{U^2}{R}$  | 3 балла |
| 3. Напряжения на лампочках $R$ и $6R$ равны между собой         | 2 балла |
| 4. Бóльшую мощность потребляет лампочка сопротивлением $R$      | 2 балла |