

Всероссийская олимпиада школьников 2022-2023 учебный год

Окружной этап

ФИЗИКА

9 класс

1. Автогонки

На очередных соревнованиях по автогонкам болельщики пристальное внимание уделяли двум автомобилям А и В, которые стартовали одновременно и двигались по одному и тому же длинному прямолинейному участку дороги. Автомобиль А первую четверть пути двигался с постоянным ускорением, а оставшуюся часть пути с постоянной скоростью. Автомобиль В весь участок пути двигался с постоянным ускорением $0,96 \text{ м/с}^2$. Считая, что оба автомобиля финишировали одновременно, определите ускорение автомобиля А.

Решение:

Обозначим ускорение автомобиля А - a_1 , ускорение автомобиля В - a_2 . Пусть S - путь, пройденный каждым автомобилем за все время движения. Автомобиль А первую четверть пути проходит за время t_1 , определяемое из уравнения:

$$\frac{S}{4} = \frac{a_1 \cdot t_1^2}{2},$$
$$t_1 = \sqrt{\frac{S}{2a_1}}. \quad (1)$$

Оставшуюся часть пути автомобиль А проходит за время t_2 , определяемое из уравнения:

$$\frac{3S}{4} = v \cdot t_2, \quad (2)$$

где v – скорость автомобиля А в конце первой четверти пути:

$$v = a_1 \cdot t_1 \quad (3)$$

Подставляя (3) в (2), с учетом (1), получим:

$$\frac{3S}{4} = a_1 \cdot \sqrt{\frac{S}{2a_1}} \cdot t_2,$$
$$t_2 = \sqrt{\frac{9S}{8a_1}} \quad (4)$$

Автомобиль В проходит весь путь S за время t :

$$S = \frac{a_2 \cdot t^2}{2}, \quad t = \sqrt{\frac{2S}{a_2}} \quad (5)$$

По условию задачи $t = t_1 + t_2$, так что:

$$\sqrt{\frac{2S}{a_2}} = \sqrt{\frac{S}{2a_1}} + \sqrt{\frac{9S}{8a_1}} \quad (6)$$

Возводя в квадрат левую и правую часть (6), получим:

$$\frac{2S}{a_2} = \frac{25S}{8a_1} \rightarrow a_1 = \frac{25}{16} \cdot a_2.$$

Ответ: $a_1 = 1,5 \text{ м/с}^2$.

Критерии оценивания:

- 1) Найдено время движения автомобиля А за первую часть пути – 2 балла
- 2) Найдено время движения автомобиля А за вторую часть пути – 2 балла
- 3) Найдено время движения автомобиля В – 2 балла
- 4) Учтено, что $t = t_1 + t_2$ – 2 балла
- 5) Получено аналитическое выражение для a_1 и получен верный численный ответ – 2 балла

Всего 10 баллов

2. Волшебное лакомство

Снегурочка решила приготовить лакомство для Деда Мороза. Для этого она положила в большую кастрюлю кусок льда, взятый при температуре плавления, долила 3,5 кг воды при температуре $t_1 = 10^\circ\text{C}$. Один из секретов технологии приготовления лакомства состоял в том, что было необходимо полностью удерживать кусок льда под водой, не касаясь дна кастрюли. Для этого нужно прикладывать к нему силу $F=1\text{Н}$, направленную вертикально вниз. Какую вертикально направленную вниз силу нужно приложить к куску льда после установления теплового равновесия в кастрюле. Теплообменом с кастрюлей и окружающими телами пренебречь. Плотность воды $\rho_{\text{в}} = 1000 \text{ кг/м}^3$, плотность льда $\rho_{\text{л}} = 900 \text{ кг/м}^3$, удельная теплоёмкость льда $c_{\text{л}} = 2100 \text{ Дж/кг}^\circ\text{C}$, удельная теплоёмкость воды $c_{\text{в}} = 4200 \text{ Дж/кг}^\circ\text{C}$, удельная теплота плавления льда $\lambda = 330 \text{ кДж/кг}$.

Решение:

Пусть V_0 – начальный объем льда, t_0 – начальная температура льда. Из условия равновесия (лед-вода):

$$F + \rho_{\text{л}} \cdot V_0 \cdot g = \rho_{\text{в}} \cdot V_0 \cdot g \quad (1)$$

$$V_0 = \frac{F}{(\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{л}}) \cdot g} = 10^{-3} \text{ м}^3, \quad (2)$$

а начальная масса льда $m_{\text{л}} = \rho_{\text{л}} \cdot V_0 = 900 \text{ г}$.

Количество теплоты, которое отдаст вода при охлаждении до температуры плавления равно

$$Q_1 = c_{\text{в}} \cdot m_{\text{в}} \cdot (t_1 - t_0) = 147 \text{ кДж.}$$

Количество теплоты, которое требуется для расплавления всего льда $Q_2 = \lambda \cdot m_{\text{л}} = 297 \text{ кДж}$. Из сопоставления этих данных следует, что теплое равновесие в кастрюле

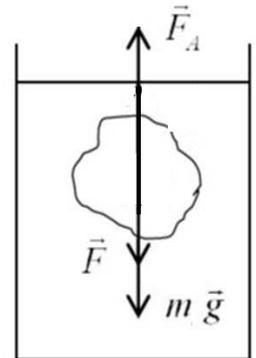
установится при температуре t_0 , и расплавится не весь лед. После установления термодинамического равновесия в кастрюле останется лёд

объёмом V , который, согласно уравнению теплового баланса, можно определить из условия:

$$\lambda \cdot \rho_{\text{л}} \cdot (V_0 - V) = c_{\text{в}} \cdot m_{\text{в}} \cdot (t_1 - t_0) \quad (3)$$

$$V = \frac{\lambda \cdot \rho_{\text{л}} \cdot V_0 - c_{\text{в}} \cdot m_{\text{в}} \cdot (t_1 - t_0)}{\lambda \cdot \rho_{\text{л}}} \quad (4)$$

После установления теплового равновесия:



$$F_1 + \rho_{\text{л}} \cdot V \cdot g = \rho_{\text{в}} \cdot V \cdot g \quad (5), \text{ где } F_1 - \text{ новая вертикальная сила.}$$

Подставляя (2), (4) в (5):

$$F_1 = F - \frac{m_{\text{в}} \cdot g \cdot c_{\text{в}} \cdot (t_1 - t_0) \cdot (\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{л}})}{\lambda \cdot \rho_{\text{л}}} \quad (6)$$

Ответ: $F_1 = 0,5 \text{ Н.}$

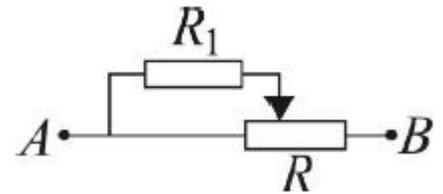
Критерии оценивания:

- 1) Сделан рисунок с указанием сил - 1 балл
- 2) Записаны условия равновесия сил до и после таяния льда- 2 балла
- 3) Найден объём льда после установления теплового равновесия - 4 балла
- 4) Получено выражение силы F_1 - 2 балла
- 5) Получено численное значение для F_1 - 1 балл

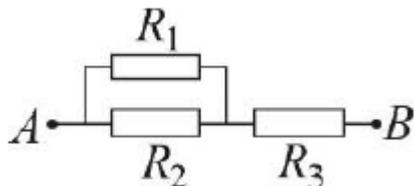
Всего 10 баллов

3. Движок реостата

Самоделкин собрал электрическую цепь, состоящую из резистора $R_1 = 3 \text{ Ом}$ и реостата $R = 10 \text{ Ом}$ длиной 1 м (см. рис). Движок реостата находится на расстоянии 25 см от левого конца. К зажимам **АВ** Самоделкин подключил источник постоянного напряжения, измерил мощность, выделяемую в цепи и снова отключил источник. Увлечшись другим исследованием, Самоделкин нечаянно передвинул вправо движок реостата так, что при очередном подключении того же самого источника, мощность в цепи возросла в 2 раза. Определите новое положение движка реостата.



Решение:



Эквивалентная схема цепи изображена на рисунке, где резисторы R_2 и R_3 представляют собой левый и правый участки реостата. Обозначим через L -длину реостата, x -расстояние движка реостата от левого конца.

При этом

$$R_2 = \frac{R \cdot x}{L}, R_3 = \frac{R \cdot (L-x)}{L} \quad (1)$$

Сопротивление двух параллельно соединенных резисторов

$$R_0 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

Полное сопротивление цепи

$$R_{AB} = R_0 + R_3$$

$$R_{AB} = R \cdot \left(\frac{R_1 \cdot x}{R_1 \cdot L + R \cdot x} + \frac{L-x}{L} \right) \quad (3)$$

При передвижении движка реостата обозначим через y - новое расстояние движка реостата от левого конца. Тогда, проводя аналогичные выкладки (1)-(3) получим:

$$R'_{AB} = R \cdot \left(\frac{R_1 \cdot y}{R_1 \cdot L + R \cdot y} + \frac{L-y}{L} \right) \quad (4)$$

Мощность тока в цепи:

$$P_1 = \frac{U^2}{R_{AB}}, P_2 = \frac{U^2}{R'_{AB}} \rightarrow R_{AB} = 2R'_{AB} \quad (5)$$

Подставляя (3)-(4) в (5):

$R \cdot \left(\frac{R_1 \cdot x}{R_1 \cdot L + R \cdot x} + \frac{L-x}{L} \right) = 2 \cdot R \cdot \left(\frac{R_1 \cdot y}{R_1 \cdot L + R \cdot y} + \frac{L-y}{L} \right)$ и решая квадратное уравнение относительно y , получим $y_1 \approx 0.77$; $y_2 \approx -0.21$ м. Очевидно, что y_2 не удовлетворяет условию.

Ответ: $y \approx 77$ см.

Критерии оценивания:

- 1) Нарисована эквивалентная цепь – 2 балла
- 2) Получено выражение для R_{AB} – 3 балла
- 3) Записано выражение для нахождения мощности тока на участке АВ – 1 балл
- 4) Получена связь $R_{AB} = 2R'_{AB}$, – 1 балла
- 5) Получено численное значение для y – 3 балла

Всего 10 баллов

4. Равновесие рычага

Древнегреческий мыслитель изучал равновесие однородного рычага массы $M = 4$ кг, изображенного на рисунке. При каких значения массы грузика m такое равновесие возможно?

Решение:

Расставим силы, действующие на рычаг. Обозначим длину одного деления L . Запишем правило моментов для рычага относительно опоры:

$$3T \cdot L + Mg \cdot \frac{L}{2} = 2N_m \cdot L \quad (1)$$

Запишем условие равновесия для груза:

$$mg = N_m + T \quad (2)$$

Решая систему уравнений (1)-(2)

относительно T , получим:

$$T = \frac{(4m-M) \cdot g}{10} \quad (3)$$

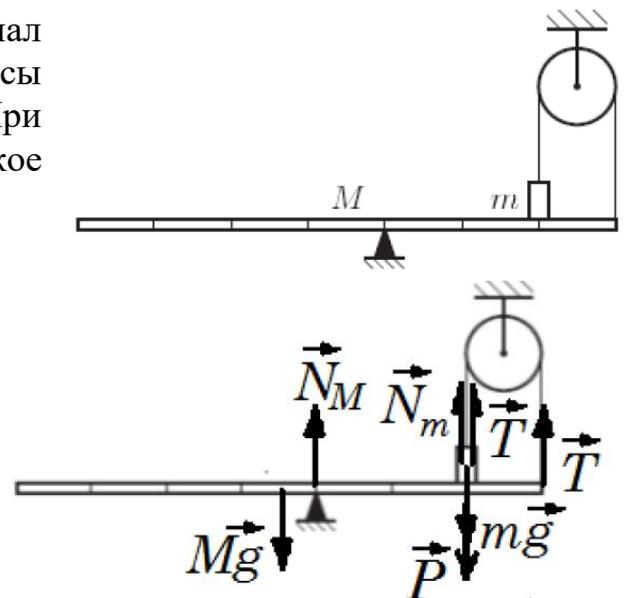
$$P = N_m \neq 0; T \geq 0 \rightarrow m \geq \frac{M}{4} \quad (4)$$

Ответ: $m \geq 1$ кг.

Критерии оценивания:

- 1) Сделан рисунок с указанием сил, действующих на рычаг - 2 балла
- 2) Верно записано условие равновесия рычага - 2 балла
- 3) Верно записано условие равновесия груза - 2 балла
- 4) Получено выражение для T - 2 балла
- 5) Учтено, что $T \geq 0$ и получено неравенство для m - 2 балла

Всего 10 баллов



5. Лёд и вода

В теплоизолированный сосуд, содержащий смесь воды со льдом, Саша опустил нагреватель. После этого Саша начал ежеминутно измерять температуру содержимого в сосуде, записывая показания в таблицу (рис.1). Используя табличные данные, помогите определить Саше первоначальную массу воды в сосуде? Удельная теплоёмкость воды равна $4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, удельная теплота плавления льда – $330 \text{ кДж}/\text{кг}$. Мощность нагревателя постоянна и равна 100 Вт . Теплоёмкостью сосуда можно пренебречь.

$\tau, \text{ мин}$	1	2	3	4	5
$t, ^\circ\text{C}$	0	0	0	2	5

Решение:

Пусть $m_{\text{л}}$ и $m_{\text{в}}$ - начальные массы льда и воды в сосуде. К концу четвёртой минуты нагревания льда в сосуде совсем не осталось (температура содержимого равна $+2^\circ\text{C}$), поэтому за пятую минуту вода массой $m_{\text{л}} + m_{\text{в}}$ нагреется на 3°C :

$$c_{\text{в}}(m_{\text{л}} + m_{\text{в}}) \cdot 3^\circ\text{C} = 100 \text{ Вт} \cdot 60 \text{ с} = 6000 \text{ Дж} \quad (1)$$

Отсюда получаем общую массу содержимого калориметра:

$$m_{\text{л}} + m_{\text{в}} = \frac{6000 \text{ Дж}}{4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}) \cdot 3^\circ\text{C}} = 0,476 \text{ кг}.$$

За первые 4 минуты лёд расплавился и вся вода нагрелась на 2°C :

$$\lambda m_{\text{л}} + c_{\text{в}}(m_{\text{л}} + m_{\text{в}}) \cdot 2^\circ\text{C} = 100 \text{ Вт} \cdot 240 \text{ с} = 24000 \text{ Дж} \quad (2)$$

Отсюда находим массу льда:

$$m_{\text{л}} = 24000 \text{ Дж} - \frac{c_{\text{в}}(m_{\text{л}} + m_{\text{в}}) \cdot 2^\circ\text{C}}{\lambda} = \frac{24000 \text{ Дж} - 3998,4 \text{ Дж}}{330000 \text{ Дж}/\text{кг}} \approx 60,6 \text{ г}.$$

Начальная масса воды, соответственно, равна $m_{\text{в}} = 0,476 - 0,0606 = 415,4 \text{ г}$

Ответ: 415,4 г.

Критерии оценивания:

- 1) Записано первое уравнение теплового баланса – 3 балла
- 2) Записано второе уравнение теплового баланса – 3 балла
- 3) Найдена масса льда - 2 балла
- 4) Найдена масса воды - 2 балла

Всего 10 баллов