

**Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников по
физике 2023-2024 гг.**

9 класс

Решения и критерии

Задание 1. Опаздывающий ученик

Ученик 9 класса стоял и отдыхал на перемене. Посмотрев на часы, он с ужасом увидел, что до урока осталось ровно 4 минуты. Ученик пошел с постоянным ускорением в сторону кабинета. Известно, что последние 10 метров до кабинета он прошел за 5 секунд. Успеет ли он на урок, если расстояние до кабинета от точки его старта 300 метров?

Возможное решение

В задаче присутствуют запутывающие данные. Важно определить, что действительно произошло, а что нет. Действительное событие заключается в том, что ученик дошел до кабинета (возможно, и с опозданием). Поэтому решение начинается с этого.

Раз он прошел последние 10 метров за 5 секунд, то до этих 5 секунд он прошел расстояние $l = 300 - 10 = 290$ м. Пусть это расстояние он прошел за некоторое время t . Тогда за время $t + 5$ с он прошел 300 м. Запишем закон равноускоренного движения:

$$l = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2},$$

где x_0 — начальная координата ученика, v_0 — начальная скорость ученика, a — ускорение ученика.

Так как $x_0 = 0$ и $v_0 = 0$, то $l = \frac{at^2}{2}$, а $l + 10 = \frac{a(t+5)^2}{2}$.

Подставим числа: $290 = \frac{at^2}{2}$, $300 = \frac{a(t+5)^2}{2}$.

Разделим второе уравнение на первое и получим: $\frac{600}{580} = \frac{(t+5)^2}{t^2}$, откуда:

$$t^2 - 290t - 725 = 0$$

$$t = \frac{290 \pm \sqrt{87000}}{2} = 292.5, -2.5$$

Второе полученное значение не имеет физического смысла. Поэтому верный ответ 292.5 с, что составляет 4 минуты и 52.5 с. Следовательно, ученик опоздал на урок.

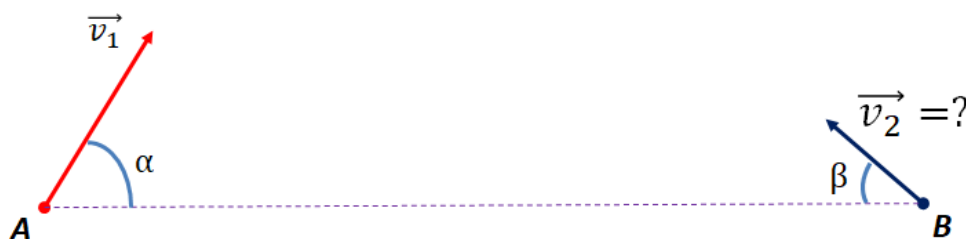
Критерии оценивания:

- 1) Верно использован закон равноускоренного движения — 2 балла.
- 2) Составлена система уравнений относительно времени — 4 баллов.
- 3) Получено верное значение времени — 3 балла.
- 4) Сделан верный вывод — 1 балл.

Максимальный балл за задание: 10 баллов.

Задание 2. Кукурузное поле

Заяц и волк находятся в непроглядном кукурузном поле в точках A и B соответственно. Ничего не подозревающий заяц начинает бежать со скоростью $v_1 = 3 \text{ м/с}$ под углом $\alpha = 60^\circ$ к отрезку AB . В тот же момент волк начинает бежать под углом $\beta = 45^\circ$ к отрезку AB . С какой скоростью v_2 он должен бежать, чтобы поймать зайца? Ответ округлить до десятых.

**Возможное решение**

Перейдём в систему отсчёта зайца — в этой СО заяц покоится в начальной точке A , а волк, согласно закону сложения скоростей, бежит со скоростью

$\vec{v}_{\text{отн}} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$. Для того, чтобы волк поймал зайца, вектор $\vec{v}_{\text{отн}}$ должен быть направлен вдоль отрезка AB как показано на рисунке:



Применим теорему синусов к треугольнику векторов, показанному на рисунке:

$$\frac{v_1}{\sin(\beta)} = \frac{v_2}{\sin(\alpha)}$$

Отсюда выражаем скорость волка: $v_2 = \frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)} v_1 \approx 3.7 \text{ м/с}$

Критерии оценивания:

- 1) Правильно записан закон сложения скоростей в векторном виде для перехода из одной СО в другую (если школьник решает задачу с помощью перехода в другую СО) — 5 баллов.

Решение задачи в лабораторной СО также стоит считать верным. В таком случае 5 баллов дается за правильную идею о том, что волк и заяц встречаются в одной точке пространства и время движения до встречи у них одинаковое.

- 2) Применена теорема синусов для треугольника векторов (или треугольника расстояний, если задача решается в лабораторной СО) и выражена скорость волка — 3 балла.
- 3) Получен правильный численный ответ, правильно произведено округление до десятых — 2 балла.

Максимальный балл за задание: 10 баллов.

Задание 3. Молочный коктейль

Девятиклассница Маша решила приготовить молочный коктейль. Для этого она взяла принесенные из магазина молоко массой $m_M = 600 \text{ г}$ при температуре $t_M = 15^\circ\text{C}$ и мороженое массой $m = 100 \text{ г}$, взятое при температуре $t = -5^\circ\text{C}$, и смешала их. Затем Маше написала одноклассница, и она отвлеклась, оставив коктейль на столе. Через $\tau = 15 \text{ мин}$ Маша вернулась и обнаружила, что температура коктейля за это время стала равна $t_{K2} = 3^\circ\text{C}$.

Тогда Маша решила провести эксперимент. Она приготовила вторую и третью порцию коктейля и поставила одну на стол, а другую вынесла на улицу и оставила на $\tau_1 = 20$ мин.

1) Какую температуру $t_{к1}$ имел коктейль, который получился после наступления теплового равновесия молока и мороженого? Считать, что время установления теплового равновесия между молоком и мороженым мало и потерь тепла не было.

2) Какую температуру $t_{к3}$ имел коктейль, который Маша оставила на столе?

3) Какую температуру $t_{к4}$ имел коктейль, который Маша вынесла на улицу?

Считайте, что мощность нагревания коктейля пропорциональна разности температуры окружающей среды и начальной температуры коктейля.

Справочные данные: удельная теплоемкость молока $c_M = 4000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}^\circ\text{C}}$, удельная теплота плавления мороженого $\lambda = 350 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}^\circ\text{C}}$, удельная теплоемкость мороженого при температуре больше -5°C $c_1 = 3,0 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}^\circ\text{C}}$, удельная теплоемкость мороженого при температуре меньше -5°C $c_2 = 4,0 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}^\circ\text{C}}$, температура плавления мороженого $t_{пл} = -5^\circ\text{C}$, температура кристаллизации молока $t_{кр} = -0,5^\circ\text{C}$, температура в комнате $t_{ком} = 25^\circ\text{C}$, температура на улице $t_{улице} = 35^\circ\text{C}$.

Возможное решение

1) Запишем уравнение теплового баланса для смеси молока с мороженым и найдем температуру коктейля $t_{к1}$:

$$m_M c_M (t_M - t_{к1}) = m c_2 (t_{пл} - t) + \lambda m + m c_1 (t_{к1} - t_{пл})$$

$$t_{к1} = \frac{m_M c_M t_M - m c_2 t_{пл} + m c_2 t - \lambda m + m c_1 t_{пл}}{m_M c_M + m c_1} = 0,2^\circ\text{C}.$$

2) Запишем уравнение теплового баланса для первой порции коктейля, оставленной в комнате на $\tau = 15$ мин:

$$m_K c_K (t_{к2} - t_{к1}) = k (t_{ком} - t_{к1}) \tau$$

3) Запишем уравнение теплового баланса для второй порции коктейля, оставленной в комнате на $\tau_1 = 20$ мин.

$$m_K c_K (t_{к3} - t_{к1}) = k (t_{ком} - t_{к1}) \tau_1$$

4) Запишем уравнение теплового баланса для третьей порции коктейля, оставленной на улице на $\tau_1 = 20$ мин.

$$m_K C_K (t_{K4} - t_{K1}) = k(t_{ул} - t_{K1})\tau_1$$

5) Найдем t_{K3} , разделив уравнение из пункта 2 на уравнение из пункта 3:

$$\frac{m_K C_K (t_{K2} - t_{K1})}{m_K C_K (t_{K3} - t_{K1})} = \frac{k(t_{КОМ} - t_{K1})\tau}{k(t_{КОМ} - t_{K1})\tau_1}$$

$$t_{K3} = \frac{(t_{K2} - t_{K1})\tau_1}{\tau} + t_{K1} = 4^\circ\text{C}$$

6) Найдем t_{K4} , разделив уравнение из пункта 2 на уравнение из пункта 4:

$$\frac{m_K C_K (t_{K2} - t_{K1})}{m_K C_K (t_{K4} - t_{K1})} = \frac{k(t_{КОМ} - t_{K1})\tau}{k(t_{ул} - t_{K1})\tau_1}$$

$$t_{K4} = \frac{(t_{K2} - t_{K1})(t_{ул} - t_{K1})\tau_1}{(t_{КОМ} - t_{K1})\tau} + t_{K1} = 5^\circ\text{C}.$$

Критерии оценивания:

- 1) Записано уравнение теплового баланса для смеси молока и мороженого — 1 балл.
- 2) Найдена температура коктейля — 1 балл.
- 3) Записано уравнение теплового баланса для первой порции коктейля, оставленной в комнате на $\tau = 15$ мин — 2 балла.
- 4) Записано уравнение теплового баланса для второй порции коктейля, оставленной в комнате на $\tau_1 = 20$ мин — 2 балла.
- 5) Найдена температура второй порции коктейля — 1 балл.
- 6) Записано уравнение теплового баланса для третьей порции коктейля, оставленной на улице на $\tau_1 = 20$ мин — 2 балла.
- 7) Найдена температура третьей порции коктейля — 1 балл.

Максимальный балл за задание: 10 баллов.

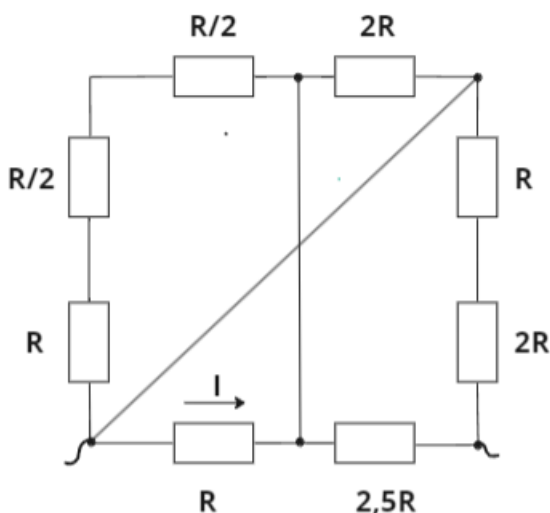
Задание 4. Нагреватель

На электрическую схему, представленную на рисунке, подается напряжение $U = 220$ В. Сила тока, указанная на рисунке, равна $I = 10$ мА.

- 1) Найдите сопротивление R.

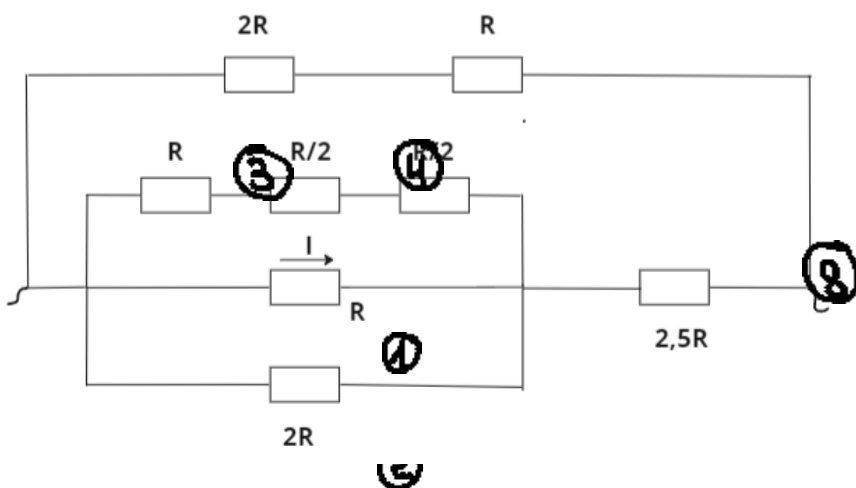
- 2) 70% тепла, выделившегося в данной схеме за $\tau = 60$ с, пошло на нагревание смеси льда и воды. Масса воды равна $m_v = 1500$ г, масса льда $m_l = 1$ г. До какой температуры нагреется данная смесь?

Удельная теплоемкость воды $c_v = 4200$ Дж/(кг·°C), удельная теплоемкость льда $c_l = 2100$ Дж/(кг·°C), удельная теплота плавления льда равна $\lambda = 3,3 \times 10^5$ Дж/кг.



Возможное решение:

- 1) Начертим эквивалентную схему без перемычек:



Общее сопротивление равно: $R_o = 1,5R$.

- 2) Токи, текущие через параллельные резисторы, обратно пропорциональны сопротивлениям. Если через резистор 1 течет ток I , то через резистор 2 течет ток $I/2$, а через резисторы 3, 4, 5 — также $I/2$. Тогда через резистор 8

течет ток $2I$, а через резисторы 6 и 7 — $2I$. Тогда общий ток равен $I_0 = 4I = 40 \text{ мА}$.

3) Найдем сопротивление R . По закону Ома $R_0 = 1,5R = \frac{U}{I_0}$, откуда $R = \frac{U}{1,5I_0} = 3,667 \text{ КОм}$.

4) Найдем тепло Q , выделяющееся в данной схеме за время τ : $Q = \frac{U^2}{R_0} \tau = \frac{2U^2}{3R} \tau = 528 \text{ Дж}$.

5) Найдем, сколько тепла необходимо, чтобы расплавить лед:

$$0,7 Q = m_{\text{л}} \times \lambda + (m_{\text{л}} + m_{\text{в}}) \times c_{\text{в}} \times \Delta t$$

$$\text{Откуда } \Delta t = \frac{0,7 \times \frac{2U^2}{3R} \tau - m_{\text{л}} \times \lambda}{(m_{\text{л}} + m_{\text{в}}) \times c_{\text{в}}} = 0,01^\circ\text{C}.$$

Критерии оценивания:

- 1) Получена эквивалентная схема без перемычек — 2 балла.
- 2) Найдено общее сопротивление — 1 балл.
- 3) Найден общий ток — 2 балла.
- 4) Найдено сопротивление одного резистора — 1 балл.
- 5) Найдено тепло, выделяющееся в данной схеме — 1 балл.
- 6) Записано уравнение теплового баланса — 1 балл.
- 7) Получена формула для расчета температуры — 1 балл.
- 8) Получен верный ответ — 1 балл.

Максимальный балл за задание: 10 баллов.

Задание 5. Погружение параллелепипеда

В лабораторной работе дан брусок в форме параллелепипеда из материала плотности ρ со сторонами a, b, c . С бруском проводят 3 опыта: последовательно за три различные грани его подвешивают к динамометру (с помощью присосок), опускают в сосуд с водой (плотность воды $\rho_{\text{в}} = 1000 \text{ кг/м}^3$) и измеряют показания динамометра F в зависимости от глубины погружения бруска h . В опытах грань, за которую подвешивают брусок, всегда строго параллельна поверхности воды. Неуклюжий лаборант разлил

кофе на результаты опытов. Оказалось, что в каждом из трех опытов можно разобрать только по 2 измерения, все остальные оказались нечитаемыми:

Таблица 1. Когда динамометр подвешен за грань ab :

F_1 , Н	1.8	1.5
h , см	4	6

Таблица 2. Когда динамометр подвешен за грань bc :

F_2 , Н	2	1.6
h , см	1	2

Таблица 3. Когда динамометр подвешен за грань ac :

F_3 , Н	1.8	1.44
h , см	2.5	4

По этим результатам измерений определите длины сторон бруска a, b, c , а также его плотность ρ . Ускорение свободного падения считать равным $g \approx 10 \text{ м/с}^2$.

Возможное решение

Рассмотрим брусок, подвешенный к динамометру за грань площадью S , погруженный на глубину h в воду. Объём бруска равен V . Из условия баланса сил Архимеда, тяжести и натяжения нити F , измеряемой динамометром, получаем:

$$F(h) = \rho g V - \rho_B g S h \quad (1)$$

Как видно, функция $F(h)$ есть линейная функция с отрицательным угловым коэффициентом и свободным членом $F_0 = \rho g V$ (сила тяжести), который во всех трёх опытах будет одинаковым, в то время как площадь грани, за которую подвесили брусок S во всех опытах, разная.

Рассмотрим первый опыт, описываемый Таблицей 1. В этом опыте брусок подвешивают за грань ab , поэтому $S = ab$. Можно провести прямую по двум точкам и найти её пересечение с осью ординат или подставить табличные данные в формулу (1) и решить систему из двух уравнений относительно F_0 :

$$1.8 = F_0 - \rho_B g ab \cdot 0.04$$

$$1.5 = F_0 - \rho_{\text{в}} g a b \cdot 0.06$$

Получим, что $F_0 = \rho g V = \rho g a b c = 2.4 \text{ Н}$. Также найдём угловой коэффициент $c_1 = \rho_{\text{в}} g a b$ по данным Таблицы 1:

$$c_1 = \frac{1.8 - 1.5}{0.06 - 0.04} = 15 \text{ Н/м}$$

Введём обозначение $k_1 = a b = \frac{c_1}{\rho_{\text{в}} g} = 0.0015 \text{ м}^2$.

Аналогичным способом обрабатывая данные из таблиц 2 и 3, находим:

$$c_2 = \rho_{\text{в}} g b c = \frac{2 - 1.6}{0.02 - 0.01} = 40 \Rightarrow k_2 = b c = \frac{c_2}{\rho_{\text{в}} g} = 0.004 \text{ м}^2$$

$$c_3 = \rho_{\text{в}} g a c = \frac{1.8 - 1.44}{0.04 - 0.025} = 24 \Rightarrow k_3 = a c = \frac{c_3}{\rho_{\text{в}} g} = 0.0024 \text{ м}^2$$

Заметим,

что

$$k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 = a b \cdot b c \cdot a c = (a b c)^2 = V^2 \Rightarrow V = \sqrt{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3} = 0.00012 \text{ м}^3$$

Отсюда получаем, что $\rho = \frac{F_0}{g V} = \frac{2.4}{10 \cdot 0.00012} = 2000 \text{ кг/м}^3$

Также можем найти стороны бруска:

$$a = \frac{a b c}{b c} = \frac{V}{k_2} = \frac{0.00012}{0.004} = 0.03 \text{ м} = 3 \text{ см}$$

$$b = \frac{a b c}{a c} = \frac{V}{k_3} = \frac{0.00012}{0.0024} = 0.05 \text{ м} = 5 \text{ см}$$

$$c = \frac{a b c}{a b} = \frac{V}{k_1} = \frac{0.00012}{0.0015} = 0.08 \text{ м} = 8 \text{ см}$$

Критерии оценивания:

- 1) Правильно записан баланс сил, из которого выражена сила натяжения нити (регистрируемая динамометром) как функция глубины погружения — 2 балла.
- 2) Правильно осознана роль свободного члена (сила тяжести) и углового коэффициента (площади грани) зависимости $F(h)$ — 2 балла.
- 3) Правильно найдена плотность материала бруска — 3 балла. Если допущена арифметическая ошибка, при верном аналитическом выражении — 2 балла.

4) Правильно найдены стороны a, b, c — 3 балла. При арифметических ошибках — 2 балла.

Максимальный балл за задание: 10 баллов.

Максимальный балл за олимпиаду: 50 баллов.