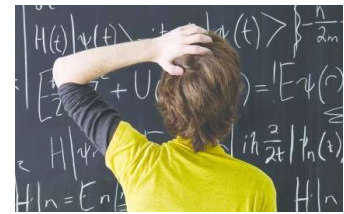


**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике**

11 класс, 2025/2026 учебный год
Длительность 3 часа 50 минут
Максимум 50 баллов.



Задача № 1. Две пушки

Из пушки, наклоненной под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту, производят выстрел в сторону точно такой же пушки, наклоненной под углом $\beta = 60^\circ$ к горизонту и находящейся на расстоянии $L = 1$ км от первой.

- 1) Чему равны дальности полета снарядов, вылетающих из пушек?
- 2) Чему равны высота и время полета каждого из снарядов?
- 3) Через какой промежуток времени надо выстрелить из второй пушки, чтобы снаряды столкнулись в полете?

Начальная скорость снарядов $v_0 = 120$ м/с, сопротивление воздуха не учитывать. Пушки закреплены.

Возможное решение:

Так как $\alpha + \beta = 90^\circ$, то дальность полета обоих снарядов будет одинаковой (**1 балл**):

$$S_1 = S_2 = S = \frac{v_0^2 \sin(2\alpha)}{g} = \frac{v_0^2 \sin(2\beta)}{g} \approx 1247 \text{ м.}$$

Высота и время полета каждого снаряда (**2 балла – по 0,5 балла за каждое из 4 значений**):

$$H_1 = \frac{v_0^2 \sin^2(\alpha)}{2g} = 180 \text{ м,}$$

$$H_2 = \frac{v_0^2 \sin^2(\beta)}{2g} = 540 \text{ м,}$$

$$t_1 = \frac{2v_0 \sin(\alpha)}{g} = 12 \text{ с,}$$

$$t_2 = \frac{2v_0 \sin(\beta)}{g} \approx 20,8 \text{ с.}$$

Уравнения траектории каждого снаряда (**1 балл, по 0,5 балла за каждое**):

$$y_1 = x_1 \operatorname{tg}(\alpha) - \frac{gx_1^2}{2v_0^2 \cos^2(\alpha)},$$

$$y_2 = x_2 \operatorname{tg}(\beta) - \frac{gx_2^2}{2v_0^2 \cos^2(\beta)}.$$

Рассмотрим сначала ситуацию, когда вторая пушка выпускает снаряд в сторону первой пушки.

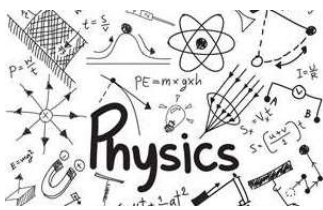
Так как пушки находятся на расстоянии $L = O_1O_2$, то $x_1 + x_2 = L$, а при столкновении снарядов $y_1 = y_2$ (**1 балл**).

Таким образом, получаем квадратное уравнение для координаты x_1 (**1 балл**):

$$\frac{g}{2v_0^2} \left(\frac{1}{\cos^2(\alpha)} - \frac{1}{\cos^2(\beta)} \right) x_1^2 + \left(\frac{gL}{v_0^2 \cos^2(\beta)} - \operatorname{tg}(\alpha) - \operatorname{tg}(\beta) \right) x_1 = \frac{gL^2}{2v_0^2 \cos^2(\beta)} - L \cdot \operatorname{tg}(\beta).$$

Корни уравнения $x_{11} \approx 912,3$ м, $x_{12} \approx -406,4$ м (**1 балл**). Второй корень не имеет физического смысла.

Время полета до столкновения снарядов (**1 балл – по 0,5 балла за каждое значение**):

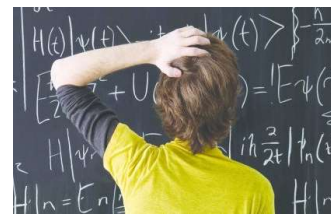


**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике**

11 класс, 2025/2026 учебный год

Длительность 3 часа 50 минут

Максимум 50 баллов.



$$t_1 = \frac{x_{11}}{v_0 \cos(\alpha)} \approx 8,78 \text{ с};$$

$$t_2 = \frac{L - x_{11}}{v_0 \cos(\beta)} \approx 1,46 \text{ с}.$$

Промежуток времени между выстрелами $\Delta t = t_1 - t_2 \approx 7,32 \text{ с}$ (**1 балл**).

Рассмотрим теперь ситуацию, когда вторая пушка стреляет не в сторону первой пушки, а в противоположную сторону. Так как пушки находятся на расстоянии $L = O_1O_2$, то теперь $x_1 - x_2 = L$, а при столкновении снарядов по-прежнему $y_1 = y_2$. Получим квадратное уравнение, аналогичное предыдущему, но с другими знаками перед некоторыми слагаемыми:

$$\frac{g}{2v_0^2} \left(\frac{1}{\cos^2(\alpha)} - \frac{1}{\cos^2(\beta)} \right) x_1^2 + \left(\frac{gL}{v_0^2 \cos^2(\beta)} - \operatorname{tg}(\alpha) + \operatorname{tg}(\beta) \right) x_1 = \frac{gL^2}{2v_0^2 \cos^2(\beta)} + L \cdot \operatorname{tg}(\beta).$$

Данное уравнение не имеет корней, поэтому при таком выстреле (если вторая пушка стреляет позже первой) столкновение снарядов невозможно. Можно было также сделать вывод про невозможность столкновения при выстреле в другую сторону на основе анализа горизонтальных составляющих скоростей снарядов (**1 балл** за анализ полета в другую сторону и вывод, что при выстреле в другую сторону столкновение невозможно; если участник просто утверждает, что столкновение в этом случае невозможно, никак не аргументируя свой ответ, то ставится **0,5 балла**).

Примечание: участник может решать задачу другими способами. В таком случае баллы выставляются пропорционально его продвижению по аналогии с представленным решением.

Итого максимум 10 баллов за задачу.

Задача № 2. Цикл с изюминкой.

С одним молем идеального одноатомного газа совершают циклический процесс, состоящий из 1-2: изобарное расширение; 2-3: изохорное охлаждение; 3-1: изотермическое сжатие. Известно, что в процессе 2-3 температура уменьшилась в $n = 4$ раза.

- 1) Найдите КПД тепловой машины, работающей по данному циклу.
- 2) Определите, во сколько раз максимальный объем в цикле больше минимального.

Возможное решение:

Обозначим температуры в точках: T_1, T_2, T_3 .

Известно, что $T_3 = \frac{T_2}{4}$.

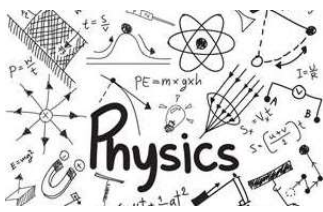
Из изотермы 3-1 можно получить, что: $T_1 = T_3 = \frac{T_2}{4}$.

Из изобары 1-2 следует, что: $\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} = 4 \Rightarrow V_2 = 4V_1$.

Из изохоры 2-3 получаем: $\frac{p_2}{T_2} = \frac{p_3}{T_3} \Rightarrow p_3 = \frac{p_1}{4}$.

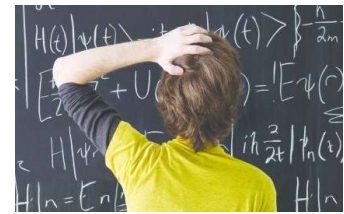
Тогда работа за цикл:

$$A = A_{12} + A_{31} = p_1(V_2 - V_1) + p_1 V_1 \ln \frac{V_1}{V_3} = 3p_1 V_1 - p_1 V_1 \ln 4.$$



Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников по физике

11 класс, 2025/2026 учебный год
Длительность 3 часа 50 минут
Максимум 50 баллов.



Осталось найти подведённое тепло: $Q_{\text{наг}} = Q_{12} = \frac{5}{2}R(T_2 - T_1) = \frac{15}{2}p_1V_1$.

Подставим все это в формулу для КПД и рассчитаем: $\eta = \frac{A}{Q_{\text{наг}}} = \frac{3 - \ln 4}{\frac{15}{2}} = \frac{6 - 2\ln}{15} \approx 0.215$.

В нашем цикле минимальный объем V_1 , так как в состояниях 2 и 3 объем будет в 4 раза больше. Тогда отношение объемов: $\frac{V_{\text{max}}}{V_{\text{min}}} = \frac{V_2}{V_1} = 4$.

Критерии оценивания:

1) Нахождение КПД (7 баллов):

Найдены температуры и давления в характерных точках – **2 балла**

Рассчитана работа газа за цикл – **2 балла**

Проведен расчет подведенного количества теплоты – **2 балла**

Получено правильное значение КПД – **1 балл**

2) Определение отношения объемов (3 балла):

Показаны точки минимального и максимального объема – **2 балла (по 1 баллу за каждую точку)**

Найдено правильное отношения объемов – **1 балл**

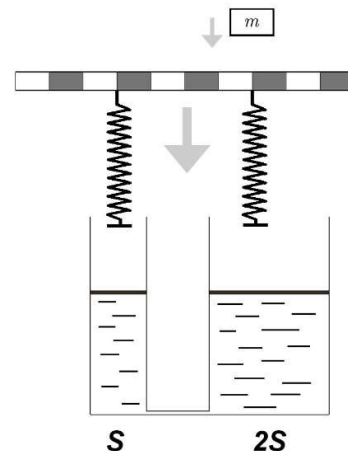
Итого максимум 10 баллов за задачу.

Задача № 3. Балансир Гука-Паскаля

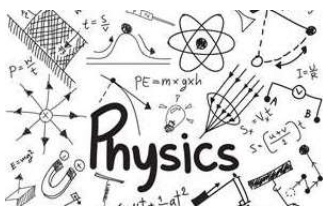
Две внешне неотличимые пружины, имеющие жесткости k и $2k$, прикрепили к однородной массивной балке, как показано на рисунке. Конструкцию устанавливают на тонкие легкие поршни сообщающихся сосудов, сечения которых отличаются в 2 раза (S и $2S$), при этом балка принимает горизонтальное положение. После чего на балку кладут небольшой груз, в результате чего балка, не меняя горизонтальной ориентации, опускается на h .

Определите:

- 1) Какая из пружин имеет меньшую жесткость?
- 2) Плотность жидкости в сообщающихся сосудах ρ .
- 3) Массу груза m .



Возможное решение:

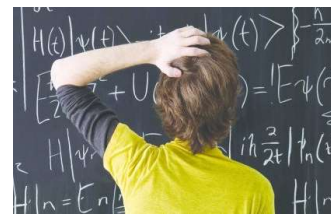


Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике

11 класс, 2025/2026 учебный год

Длительность 3 часа 50 минут

Максимум 50 баллов.



Пружины закреплены на балке симметрично. Значит при горизонтальном положении балки силы упругости обеих пружин должны быть одинаковы и равны $\frac{1}{2}Mg$, где M – масса балки.

В виду равенства сил давление под левым поршнем будет выше, чем под правым (из-за разных площадей). Значит левый поршень опустится, а правый – поднимется, то есть правая пружина сожмется сильнее. Раз так, можно сделать вывод, что правая пружина имеет жесткость k , а левая – $2k$.

Введем обозначения: l – длина пружин, Δl_1 и Δl_2 – деформации левой и правой пружин соответственно, Δh – разница высот между поршнями.

Из равенства сил:

$$k\Delta l_2 = 2k\Delta l_1 \quad (1)$$

$$\Delta l_2 = 2\Delta l_1$$

Из закона сообщающихся сосудов:

$$\frac{2k\Delta l_1}{S} = \frac{2k\Delta l_1}{2S} + \rho g \Delta h. \quad (2)$$

Поскольку балка горизонтальна:

$$l - \Delta l_1 = l - \Delta l_2 + \Delta h.$$

Откуда:

$$\Delta h = \Delta l_2 - \Delta l_1 = \Delta l_1. \quad (3)$$

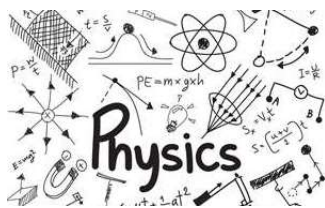
Подставив (3) в (2), получим:

$$\frac{2k\Delta l_1}{2S} = \rho g \Delta l_1,$$

откуда:

$$\rho = \frac{k}{gS}.$$

После того, как на балку помещают груз m , силы упругости пружин меняются, однако остаются равными (в предыдущих рассуждениях мы ни разу не использовали массу балки, то есть от нагрузки результат не зависел, и для горизонтального положения балки необходимо было сохранение распределения нагрузки по пружинам). Под тяжестью груза левой

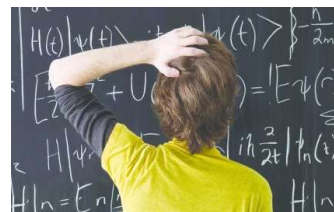


**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике**

11 класс, 2025/2026 учебный год

Длительность 3 часа 50 минут

Максимум 50 баллов.



пружине придется сжаться еще на Δl , правой – на $2\Delta l$, а поршням дополнительно сместиться друг относительно друга – на Δl .

При этом левый поршень опустится на $\frac{2}{3}\Delta l$, а правый поднимется на $\frac{1}{3}\Delta l$. Откуда:

$$\Delta l + \frac{2}{3}\Delta l = h \quad ; \quad \Delta l = \frac{3}{5}h. \quad (4)$$

Тогда:

$$mg = 2 \cdot 2k \cdot \frac{3}{5}h$$

Откуда:

$$m = \frac{12kh}{5g}$$

Критерии оценивания:

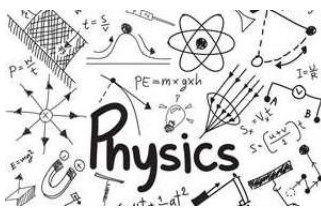
- Правильно описана физика процесса. Аргументировано, что правая пружина имеет меньшую жесткость (1 балл)
- Записан закон Гука в виде уравнения 1 (1 балл)
- Записан закон сообщающихся сосудов в виде уравнения 2 (1 балл)
- Записано условие на связь сжатий и смещения поршней 3 (1 балл)
- Получено выражение для ρ (1 балл)
- Смещения поршней во втором случае выражены через сжатие пружин (1 балл)
- Найдено соотношение 4 или его аналог (2 балла)
- Получено выражение для m (2 балла)

Итого максимум 10 баллов за задачу.

Задача № 4. 100 лет тому вперед.

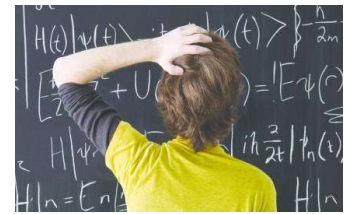
Маленькому гусю по имени Аршит гости из будущего оставили схему одной из важнейших частей машины времени с просьбой о незамедлительной помощи. На ней была изображена электрическая цепь, состоящая из 2027 идеальных батареек с напряжением U каждая, 2027 конденсаторов с емкостями C , $C/2$, и т.д. (см. рис.) и одного резистора сопротивлением R . Посланцы хотели понять:

1) чему равна суммарная работа всех батареек в цепи с момента сборки за гигантское время, много большее времени жизни Вселенной;



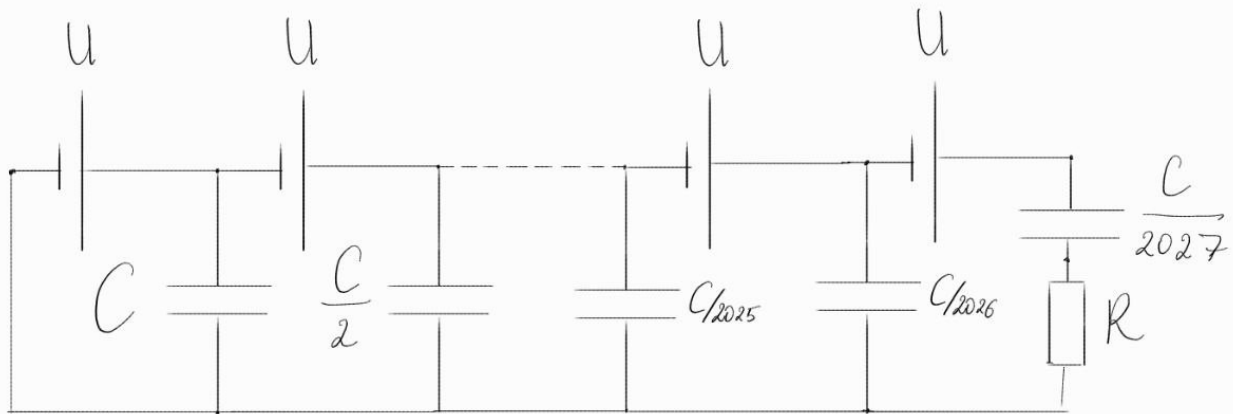
**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике**

11 класс, 2025/2026 учебный год
Длительность 3 часа 50 минут
Максимум 50 баллов.



2) какое количество теплоты выделится в цепи за то же самое гигантское время.

Помогите гусю Аршиту ответить на мольбу о помощи. Конденсаторы до сборки цепи были незаряжены. Считайте, что сборку цепи производят практически мгновенно.

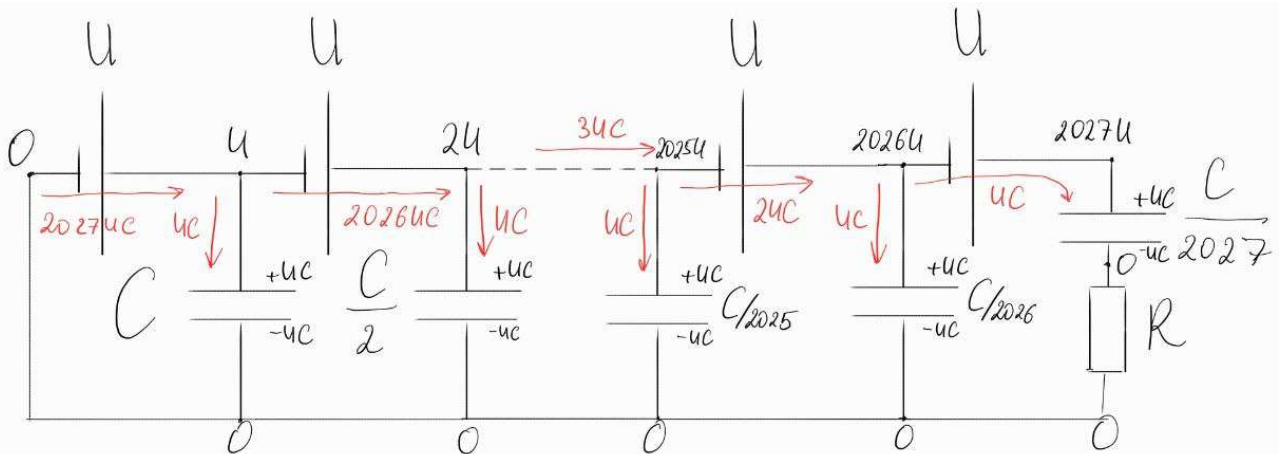


Возможное решение:

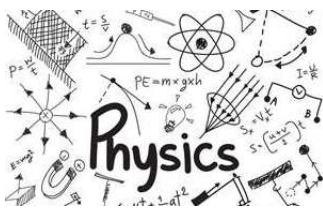
Рассмотрим установившийся режим, на который выйдет система спустя большое время. В этом режиме токи через конденсаторы не текут, ток через резистор также не течет.

Пусть на нижнем проводе в схеме потенциал равен 0. Тогда в узле после первой батарейки потенциал будет равен U , после второй - $2U$, после 2027-ой - $2027U$.

Тогда на первом конденсаторе установится заряд $q_1 = CU$, на втором $q_2 = C/2 \cdot 2U = CU$ и т.д. Для произвольного конденсатора с номером i получим: $q_i = C/i \cdot iU = CU = q$.



Поскольку на последнем конденсаторе накоплен заряд q , а к нему последовательно подключена батарейка, значит через нее за все время прошел заряд q . На предпоследнем конденсаторе также накоплен заряд q , и последнюю ветвь тоже ушел заряд q . Значит из 2026-го узла вытек заряд $q + q = 2q$, он же протек и через последовательную батарейку.

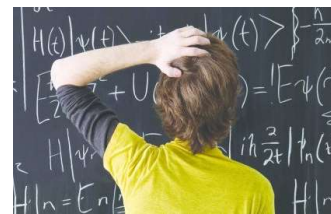


**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике**

11 класс, 2025/2026 учебный год

Длительность 3 часа 50 минут

Максимум 50 баллов.



Рассуждая аналогичным образом для всех остальных звеньев нашей цепи, получим, что на каждом узле будет вытекать заряд, вошедший в предыдущий узел $+q$, значит через каждую следующую батарейку протечет заряд на q больше чем на предыдущую, образуя арифметическую прогрессию $q, 2q, 3q, \dots, 2026q, 2027q$.

Чтобы найти теплоту, выделившуюся в цепи, распишем ЗСЭ для всей цепи.

$W_c + Q = A_6$, где W_c - потенциальная энергия конденсаторов, Q – количество теплоты, выделившееся в цепи, A_6 – суммарная работа батареек. Работа одной батарейки – это произведение заряда, протекающего сквозь нее, на ее напряжение. Так как напряжение у всех батареек одинаково, то суммарная работа всех источников:

$$U \cdot (q + 2q + 3q + \dots + 2027q) = 2055378Uq.$$

Энергия каждого конденсатора – это $W_i = 0,5qU_i$, так что у первого будет $W_1 = 0,5qU$, у второго $W_2 = 0,5q \cdot 2U$, у третьего $W_3 = 0,5q \cdot 3U$, ... у последнего $W_{2027} = 0,5q \cdot 2027U$.

Тогда суммарная энергия всех конденсаторов

$$W_0 = 0,5qU(1+2+3+\dots+2027) = 1027689qU.$$

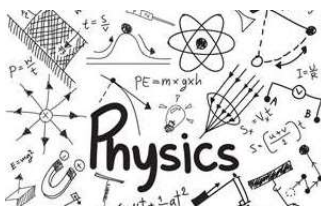
В таком случае $Q = A_6 - W_c = 1027689qU = 1027689CU^2$.

Критерии оценивания:

- 1) В явном виде указано, что в установившемся режиме токи в цепи не текут – **1 балл**.
- 2) Найдены заряды на каждом конденсаторе – **1 балл**.
- 3) Определены заряды, которые прошли через каждую из батареек – **2 балла**.
- 3) Записан ЗСЭ для цепи – **1 балл**.
- 4) Определена суммарная работа всех источников – **2 балла**.
- 5) Найдена суммарная энергия на всех конденсаторах – **2 балла**.
- 6) Посчитано искомое количество теплоты – **1 балл**.

Примечание: в случае альтернативных подходов следует ориентироваться на основные этапы решения, аналогичные критериям выше.

Итого максимум 10 баллов за задачу.

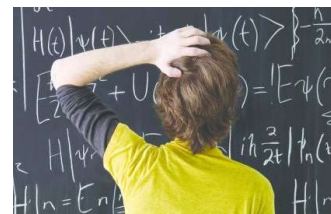


Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников по физике

11 класс, 2025/2026 учебный год

Длительность 3 часа 50 минут

Максимум 50 баллов.



Задача № 5. Температурный коэффициент (Псевдоэксперимент)

Оборудование: один лист миллиметровой бумаги формата А4.

Экспериментально было показано, что сопротивление металлов зависит от температуры следующим образом:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t + \beta t^2 + \gamma t^3 + \dots),$$

где R_t – сопротивление металлического проводника при температуре t , R_0 – сопротивление металлического проводника при температуре 0°C ; α, β, γ – эмпирические коэффициенты, зависящие от природы металла. В интервале температур от 0 до 100°C можно ограничиться первым членом степенного ряда, то есть считать, что сопротивление проводника в первом приближении изменяется по закону

$$R_t = R_0(1 + \alpha t).$$

Коэффициент α называют температурным коэффициентом сопротивления. Он показывает относительное изменение первоначального сопротивления при нагревании его на один градус по шкале Цельсия.

В таблице приведены измерения сопротивления куска проволоки при комнатной температуре и дальнейшем ее нагревании.

$t, ^\circ\text{C}$	22	23	30	35	40	45	50	55	60	65	70
$R, \text{Ом}$	79	79	82	83	85	87	88	90	91	93	95

Задание:

- 1) Построить график зависимости сопротивления от температуры.
- 2) С помощью графика определить значение температурного коэффициента сопротивления α .
- 3) Определить удельное сопротивление куска проволоки длиной 15 м при 20°C . Диаметр проволоки измеряли микрометром (погрешность $\pm 0,01$ мм) в разных местах, результаты измерений были записаны в таблицу:

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$d, \text{мм}$	0,39	0,35	3,5	0,36	0,36	0,34	0,36	0,38	0,36	0,35	0,35

Возможное решение:

- 1) Построен график зависимости сопротивления от температуры.

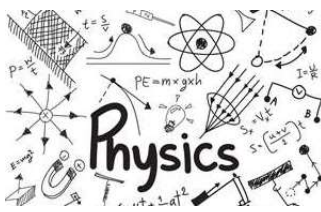
Если построен другой график (например, график зависимости N от H), то баллы за данный пункт умножаются на 0,5. Т.е. участник может получить **не более 1,5 баллов** за данный пункт.

График оценивается максимум в **3 балла**. Для выставления балла должны выполняться ВСЕ требования в соответствующем пункте (а, б или в).

а) Размер осей и масштаб графика – 1 балл

Требования: длина любой оси не должна быть меньше 12 см; полезная часть графика не должна быть меньше 50% от длины соответствующей оси.

б) Подписанные оси, на всех осях правильно нанесена шкала – 1 балл

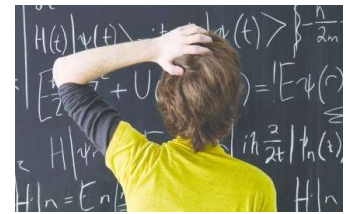


Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников по физике

11 класс, 2025/2026 учебный год

Длительность 3 часа 50 минут

Максимум 50 баллов.

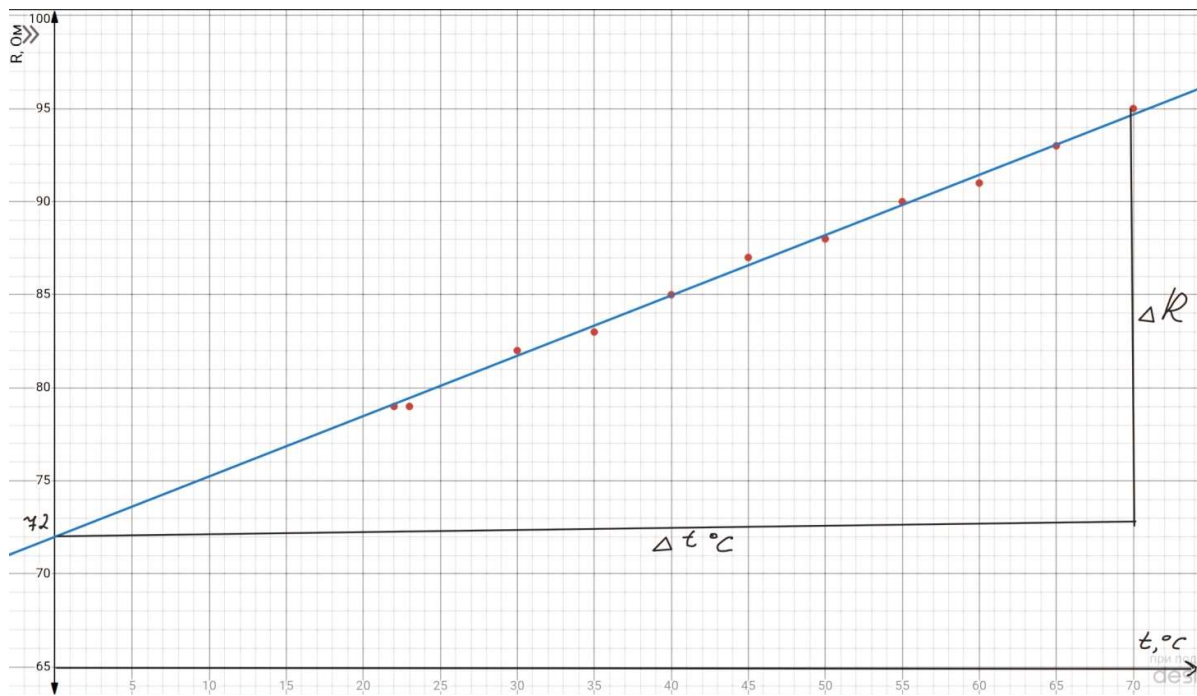


Требования: около осей должны быть указаны откладываемые величины и единицы их измерения (допускается не писать единицы измерения у физических величин, измеряемых в штуках); цена деления (размер самой маленькой клеточки в единицах откладываемой величины) координатной сетки на каждой из осей должна быть равна $a \cdot 10^n$, где $a = 1$, или 2, или 5, а n – целое число; штрихи на осях должны наноситься через равные интервалы и попадать на основные линии миллиметровой бумаги; оцифровка штрихов должна быть сделана через равные интервалы; на каждой оси должны быть подписаны не менее 5 масштабных делений; смещение начальной точки по осям относительно нуля должно быть кратно шагу оцифровки.

в) Нанесены все точки из таблицы и проведена оптимальная прямая (точки НЕ соединены ломаной) – 1 балл.

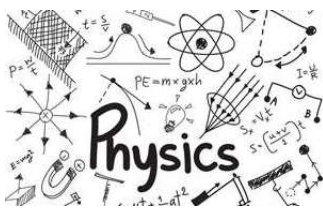
Требования: точки должны быть четко видны на фоне линии; положение точек должно соответствовать таблице измерений (отклонение не более двух точек не более, чем на 2 деления мелкой сетки миллиметровой бумаги); не следует указывать на осях значения экспериментальных точек и проводить перпендикуляры к осям (исключением являются случаи, когда точки используются для определения каких-либо параметров – например, коэффициента наклона или свободного члена); линия графика должна быть одинарной, на ее фоне должны быть видны экспериментальные точки; линейный участок графика должен строиться по линейке.

Примечание: Если график отсутствует (не нанесены точки, линии нет, есть только координатные оси), то ставится 0 баллов за весь пункт.



2) Продолжим прямую до пересечения с осью R , по точке пересечения найдем значение $R_0 = 72$ Ом (засчитывается в диапазоне от 70 до 75 Ом) (**1 балл** за описание способа нахождения + **0,5 балл** за ответ).

Записано выражение для температурного коэффициента:

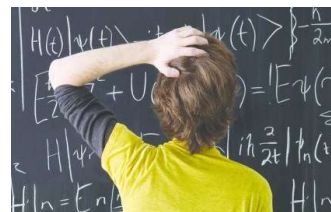


**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике**

11 класс, 2025/2026 учебный год

Длительность 3 часа 50 минут

Максимум 50 баллов.



$$\alpha = \frac{R-R_0}{\Delta t R_0} = \frac{\Delta R}{\Delta t R_0}, \quad (0,5 \text{ балла})$$

где $\frac{\Delta R}{\Delta t}$ – угловой коэффициент прямой. Из графика найдено значение углового коэффициента (**1 балл**).
Найдено значение температурного коэффициента (засчитываем в диапазоне 0,0037 – 0,0051 1/°C) – (**0,5 балла**).

Примечание: Если участник находит R_0 и α без использования графика (например, проводит какие-то расчеты на основании таблицы), то при попадании R_0 и α в ворота эта часть решения оценивается в случае вычисления по одной паре значений в **0,5 балла + 0,5 балла**, в случае вычисления по трем и более парам значений с последующим усреднением – в **1 балл + 1 балл**.

3) Указано, что значение №3 является промахом (**0,5 балла**). По остальным значениям таблицы найдено среднее значение диаметра проволоки $d = 0,36$ мм (**0,5 балл**).

Из графика найдено и записано значение R при 20°C (диапазон $R = 77-80$ Ом) (**0,5 балла**).

Записано выражение для нахождения удельного сопротивления $\rho = \frac{R\pi d^2}{4l}$ (**1 балл**) и правильно найдено его значение (диапазон от 0,50 до 0,55 $\frac{\text{Ом}\cdot\text{мм}^2}{\text{м}}$) – (**1 балл**)

Итого максимум 10 баллов за задачу.