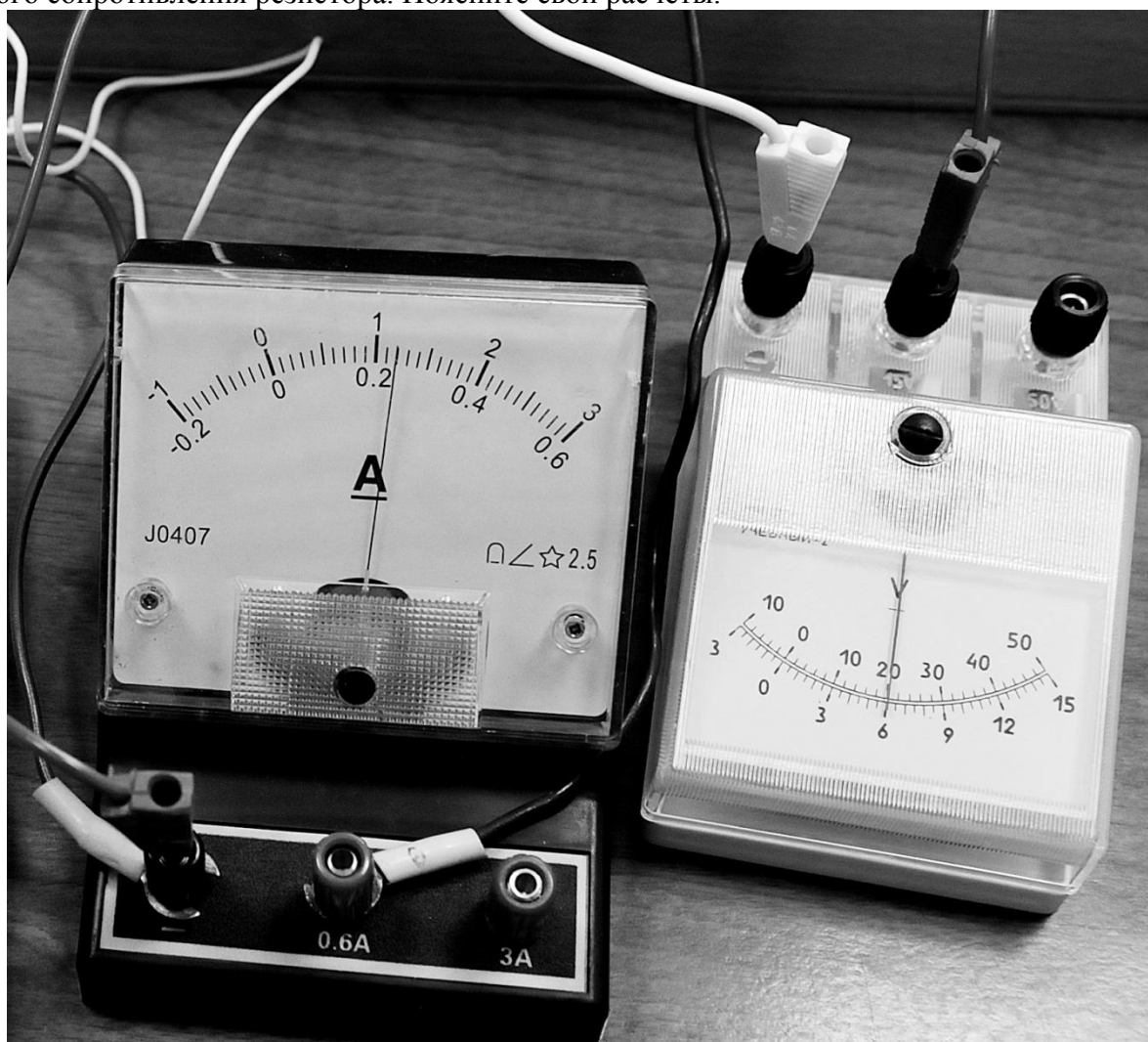


**ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ
2025-2026 уч. год. Муниципальный этап. КАЛУЖСКАЯ ОБЛАСТЬ**

9 КЛАСС Условия, ответы, решения, критерии оценки

Задание подготовлено профессором кафедры физики и математики КГУ им. К.Э. Циолковского М.С. Красиным

1. «Про вольтметр и амперметр». Перед Вами фотография аналоговых вольтметра и амперметра, подключенных к резистору для измерения его сопротивления. Класс точности приборов 2,5. **Задание 1** (6 баллов). Запишите показания приборов с учётом возможной погрешности. Обращаем внимание, что для оценки, т.е. нахождения приближённого значения величины погрешности аналогового прибора, можно использовать упрощённое правило и не учитывать, в явном виде, класс точности прибора. Поясните свои расчёты. **Задание 2** (4 балла). Определите величину измеряемого сопротивления резистора. Поясните свои расчёты.



1. «Про вольтметр и амперметр».

Ответы: $I = (0,24 \pm 0,02) \text{ A}$, $U = (6,0 \pm 0,5) \text{ В}$, $R = 25 \text{ Ом} \pm 4 \text{ Ом}$

Решения. Обоснование ответа на вопрос 1. Определяем, что оба прибора подключены так, что используются их нижние шкалы. Для корректной записи результата измерений необходимо оценить их погрешность.

Наиболее простой способ оценки и учёта погрешности аналоговых приборов. Учитывая место подключения проводов, выясняем, что на амперметре используют нижнюю шкалу. Цена её деления равна 0,02 А. Это значение можно принять за величину погрешности измерения с помощью этого прибора. Тогда результат измерения силы тока принимаем равным $I = (0,24 \pm 0,02) \text{ A}$. Рассуждая аналогично для вольтметра, получаем $U = (6,0 \pm 0,5) \text{ В}$.

Оценка погрешности с учётом класса точности. Основную приборную погрешность измерения некоторой величины X с помощью прибора с учётом его класса точности γ

(погрешность класса точности прибора) при аддитивном характере погрешности рассчитывают по формуле $\Delta_{\text{осн пр}} X = \frac{X_{\text{макс}} \cdot \gamma}{100}$. Для амперметра получаем $\Delta_{\text{осн пр}} I = \frac{0,6 \text{ А} \cdot 2,5}{100} = 0,015 \text{ А}$, для вольтметра $\Delta_{\text{осн пр}} U = \frac{15 \text{ В} \cdot 2,5}{100} = 0,375 \text{ В} = 0,4 \text{ В}$. (Обращаем внимание: 1) погрешность вольтметра округлена в соответствии с правилами округления погрешностей; 2) при мультипликативном характере приборной погрешности погрешность класса точности следовало бы рассчитывать по формуле $\Delta_{\text{осн пр}} X = \frac{X_{\text{измер}} \cdot \gamma}{100}$ и тогда для вольтметра она равнялась бы $\Delta_{\text{осн пр}} U = \frac{6 \text{ В} \cdot 2,5}{100} = 0,15 \text{ В}$). При снятии показаний с аналоговых приборов необходимо учитывать ещё и погрешность отсчёта, которую принимают равной половине цены деления прибора $\Delta_{\text{отсчёта}} X = 0,5 \text{ С}$ (где С – цена деления шкалы прибора). Итоговую величину приборной погрешности оценивают по формуле $\Delta_{\text{осн пр}} X = \sqrt{(\Delta_{\text{осн пр}} X)^2 + (\Delta_{\text{отсчёта}} X)^2}$. Получаем, что приборная погрешность амперметра приблизительно равна $\Delta_{\text{пр}} I = \sqrt{0,015^2 + 0,01^2} = 0,018 \text{ (А)}$. Приборная погрешность вольтметра приблизительно равна $\Delta_{\text{пр}} U = \sqrt{0,375^2 + 0,25^2} = 0,45 \text{ (В)}$. Тогда результаты измерения принимаем равными $I = (0,240 \pm 0,018) \text{ А}$, $U = (6,00 \pm 0,45) \text{ В}$.

(Обращаем внимание, что упрощённый вариант значительно проще и даёт приблизительно те же результаты, что и с учётом класса точности.)

Обоснование ответа на вопрос 2. Сопротивление резистора рассчитываем по закону Ома $R = \frac{U}{I}$.

Способ с применением метода верхней-нижней границы (методом В-Г). Будем считать, что напряжение на резисторе равно показаниям вольтметра, а сила тока через него – показаниям амперметра. Поскольку приборы имеют погрешности, то согласно закону Ома и в соответствии с методом В-Г, находим

$$R_{\text{ВГ}} = \frac{U + \Delta U}{I - \Delta I} = \frac{6,5 \text{ В}}{0,22 \text{ А}} = \frac{65}{2,2} \text{ Ом}, \quad R_{\text{НГ}} = \frac{U - \Delta U}{I + \Delta I} = \frac{5,5 \text{ В}}{0,26 \text{ А}} = \frac{55}{2,6} \text{ Ом}$$

Погрешность измерения $\Delta R = 0,5(R_{\text{ВГ}} - R_{\text{НГ}}) = 0,5 \left(\frac{65}{2,2} - \frac{55}{2,6} \right) \text{ Ом} = 4,1958 \dots \text{ Ом} = 4 \text{ Ом}$

Измеренное значение $R = 0,5(R_{\text{ВГ}} + R_{\text{НГ}}) = 0,5 \left(\frac{65}{2,2} + \frac{55}{2,6} \right) \text{ Ом} = 25,349 \dots \text{ Ом} = 25 \text{ Ом}$

Ответ: $R = 25 \text{ Ом} \pm 4 \text{ Ом}$

Способ с применением метода упрощённой оценки границ.

Измеренное значение принимаем равным $R = \frac{6,0 \text{ В}}{0,24 \text{ А}} = 25 \text{ Ом}$

Учитывая формулу для расчёта измеряемой величины, приходим к выводу, что относительную погрешность измерения сопротивления можно рассчитать по формуле

$$\varepsilon_R = \varepsilon_U + \varepsilon_I = \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I} = \frac{0,5}{6,0} + \frac{0,02}{0,24} = 0,167$$

Обращаем внимание, что в случае другой формулы для расчёта искомой величины формулы для оценки границы погрешности надо использовать другие.

Границу абсолютной величины погрешности находим по формуле

$$\Delta R = \varepsilon_R \cdot R = 0,167 \cdot 25 \text{ Ом} = 4,17 \dots \text{ Ом} = 4 \text{ Ом}$$

Ответ: $R = 25 \text{ Ом} \pm 4 \text{ Ом}$

Способ с применением метода вероятностной оценки

$$\varepsilon_R = \sqrt{\varepsilon_U^2 + \varepsilon_I^2} = \sqrt{\left(\frac{0,5}{6,0}\right)^2 + \left(\frac{0,02}{0,24}\right)^2} = 0,118$$

Обращаем внимание, что в случае другой формулы для расчёта искомой величины формулы для оценки границы погрешности надо использовать другие.

$$\Delta R = \varepsilon_R \cdot R = 0,118 \cdot 25 \text{ Ом} = 2,95 \dots \text{ Ом} = 3 \text{ Ом}$$

Ответ: $R = 25 \text{ Ом} \pm 3 \text{ Ом}$

1. «Про вольтметр и амперметр». Критерии оценки.

Если оценка погрешности не проведена или при её оценке допущены существенные ошибки, то за измерение силы тока, напряжения и сопротивления ставить по 1 баллу. И можно добавить не

более одного балла за попытку оценки погрешности. Максимальное количество баллов за решение задачи при неправильной оценке погрешности не может превышать 4 баллов.

За нахождение результата измерения силы тока с учётом погрешности ставить 3 балла.

За нахождение результата измерения напряжения с учётом погрешности ставить 3 балла.

Если измеренное значение напряжение приведено в виде $U = (6 \pm 0,5)\text{В}$, то за это ставить не более 2 баллов.

За нахождение результата измерения сопротивления с учётом погрешности ставить 4 балла.

За вычислительную ошибку оценку снижать на 1 балл. Если выбрана верхняя шкала прибора, то нахождение этой величины оценку не ставить, но за последующие правильные действия оценку не снижать.

Если использовался метод оценки по классу точности, но при этом не учитывалась погрешность отсчёта (половина цены деления) то оценку снизить на 1 балл. Если погрешность находят путём простого сложения погрешности класса точности и погрешности отсчёта, то оценку не снижать.

2. «Трое на стадионе». По круговой беговой дорожке стадиона бегают вокруг поля три спортсмена. Скорость каждого спортсмена остаётся постоянной. Один из них бежит со скоростью $v_1 = 300 \frac{\text{см}}{\text{с}}$, второй с $v_2 = 240 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$, третий с $v_3 = 5,4 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Направления бега первого и третьего спортсменов совпадают, а второй бежит в противоположном направлении. **Вопрос 1. (3 балла).** На сколько должен увеличить (или уменьшить) скорость третий спортсмен, чтобы расстояние, измеряемое вдоль дорожки, между ним и первым спортсменом не менялось?

Но третий спортсмен не изменял свою скорость и в некоторый момент все три спортсмена оказались рядом. **Вопрос 2. (7 баллов)** Через сколько времени они снова все трое окажутся рядом? Учтите, что длина беговой дорожки этого стадиона равна 360 метров.

2. «Трое на стадионе». Ответы: увеличить на $1,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, через 12 минут

Возможное обоснование ответа на вопрос 1. Выразим скорости первого и третьего спортсменов в одинаковых единицах измерения: $v_1 = 3,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $v_3 = 1,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Тогда определяем, что третий спортсмен должен увеличить свою скорость на $1,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Возможное решение задачи для ответа на вопрос 2. Способ 1. Выразим скорость второго в м/с. $v_2 = 4,0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Рассмотрим ситуацию с позиций самого медленного спортсмена, т.е. бегущего со скоростью $v_3 = 1,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Он становится как будто неподвижным. Относительно него первый спортсмен пробегает со скоростью $u_1 = v_1 - v_3 = (3,0 - 1,5) \frac{\text{м}}{\text{с}} = 1,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. А второй спортсмен – со скоростью $u_2 = v_2 + v_3 = (4,0 + 1,5) \frac{\text{м}}{\text{с}} = 5,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Все спортсмены окажутся рядом, в тот момент, когда и первый и второй спортсмены сделают целое (но разное, т.к. скорости относительного движения разные) количество n оборотов по стадиону, относительно первого. Пусть L длина стадиона. Тогда, учитывая, что время τ движения спортсменов одинаковое можно записать, что $n_2 L = u_2 \cdot \tau$ и $n_1 L = u_1 \cdot \tau$. Получаем, что отношение числа относительных оборотов по стадиону спортсменов равно отношению их относительных скоростей $\frac{n_2}{n_1} = \frac{u_2}{u_1} = \frac{5,5}{1,5}$. (1)

Учитывая, что число оборотов каждого спортсмена должно быть целым (с позиций первого спортсмена), приходим к выводу, $\frac{5,5}{1,5} = \frac{11}{3}$, что второй спортсмен сделал одиннадцать относительных оборотов, а первый – три. (2)

Тогда время движения можно найти, разделив путь, пройденный первым или вторым спортсменом относительно медленного спортсмена, на его относительную скорость. Для первого спортсмена

$$\tau = \frac{3 \cdot 360 \text{ м}}{1,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = 720 \text{ с} = 12 \text{ мин}$$

Обращаем внимание, что совсем необязательно было рассматривать движение относительно медленного. Можно было относительно любого из трёх.

Возможное решение задачи для ответа на вопрос 1. Способ 2. Предположим, что самый

медленный спортсмен пробежал расстояние $L_3 = v_3 \cdot \tau$, где τ - время между встречами. Тогда первый спортсмен пробежал расстояние, которое на целое число кругов больше расстояния пройденного первым, поэтому $L_1 = N_1 \cdot L + L_3$ (3)

где L длина стадиона. А второй спортсмен, двигавшийся навстречу третьему, пробежал расстояние, которое можно выразить как длину целого числа кругов минус расстояние, пройденное до встречи первым $L_2 = N_2 \cdot L - L_3$ (4)

Выражая путь через произведение скорости на время, получаем

$$v_1 \cdot \tau = N_1 \cdot L + v_3 \cdot \tau, \quad (5)$$

$$v_2 \cdot \tau = N_2 \cdot L - v_3 \cdot \tau. \quad (6)$$

Отсюда можно записать, что $N_1 \cdot L = (v_1 - v_3) \cdot \tau$ и $N_2 \cdot L = (v_2 + v_3) \cdot \tau$.

$$\text{Тогда } \frac{N_2}{N_1} = \frac{v_2 + v_3}{v_1 - v_3} = \frac{5,5}{1,5} \quad (7)$$

Учитывая минимальность интервала времени и тот факт, что число оборотов должно быть целым, получаем, что $N_2 = 11$, а $N_1 = 3$ оборота (8)

$$\text{Тогда время можно рассчитать по формуле } \tau = \frac{N_1 \cdot L}{(v_1 - v_3)} \quad (9)$$

$$\text{Получаем } \tau = \frac{3 \cdot 360 \text{ м}}{(3,0 - 1,5) \frac{\text{м}}{\text{с}}} = 720 \text{ с} = 12 \text{ мин}$$

2. «Трое на стадионе». Критерии оценки.

За ответ на вопрос 1 (3 балла). За правильный ответ без обоснования баллов не ставить. За идею выразить скорости в одинаковых единицах измерения ставить 1 балл. Если словами это не сказано, но вычисления проведены, то этот балл следует ставить. За получение правильного ответа добавить 2 балла. Если сделана ошибка при переводе единиц измерения, то эти баллы не добавлять. Если сделана вычислительная ошибка, то снизить оценку на 1 балл.

За ответ на вопрос 2 (7 баллов).

При решении способом 1. За правильный ответ без обоснования баллов не ставить.

За идею рассмотреть относительно одного из спортсменов ставить 1 балл.

За нахождение относительных скоростей спортсменов ставить по 0,5 балла за скорость каждого.

За взаимосвязь пройденного относительного пути и относительной скорости ставить 1 балл.

За идею о целом числе относительных оборотов каждого спортсмена ставить 1 балл.

За соотношение (1) ставить 1 балл. За вывод (2) ставить 1 балла.

За нахождение времени движения ставить 1 балл.

При решении способом 2. За правильный ответ без обоснования баллов не ставить.

За идею выразить пути двух спортсменов как некоторое целое число оборотов вокруг стадиона плюс-минус путь, пройденный третьим спортсменом ставить 1 балл.

За выражения (3) и (4) в виде формулы или в виде фразы добавлять по 0,5 балла.

За выражения (5) и (6) добавлять по 0,5 балла.

За соотношения (7), (8) и (9) ставить по 1 баллу.

За нахождение времени движения ставить 1 балл.

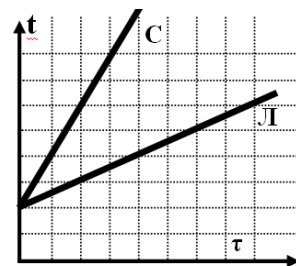
Итоговый ответ при необходимости округлить до целого с избытком.

За вычислительную ошибку снижать оценку на 1 балл. За решение по частям или численное оценку не снижать.

3. «Графики нагрева» (10 баллов). Два тела, стальное и латунное, начали равномерно нагревать, сообщая за одинаковое время одинаковое количество теплоты. График зависимости температуры t тел от времени τ показан на рисунке. Линия С графика –нагрев стали, линия Л – латуни.

Удельная теплоёмкость стали $c_c = 500 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$, латуни $c_l = 400 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$.

Сравните массы тел.



3. «Графики нагрева» Ответ масса стальной детали в 5 раз меньше латунной. **Решение.** Пусть P

– энергия, подводимая к каждому телу за единицу времени, Δt – изменение температуры тела, Δt интервал времени, за которое подводилось тепло, вызвавшее изменение температуры, m – масса тела.

Для процесса нагрева каждого тела можно записать

$$c \cdot m \cdot \Delta t = P \cdot \Delta \tau \quad (1)$$

По графикам выбираем интервалы времени нагрева каждого тела, за которые хорошо определяются интервалы изменения их температур. Например:

$$c_c \cdot m_c \cdot 2 = P \cdot 1 \quad (2) \quad c_l \cdot m_l \cdot 1 = P \cdot 2 \quad (3)$$

Разделив (2) на (3) и подставив значения удельных теплоёмкостей, получаем $\frac{m_c}{m_l} = \frac{1}{5}$, т.е. масса стальной детали в 5 раз меньше латунной.

3. «Графики нагрева». Критерии оценки

За запись формулы расчёта количества теплоты необходимого для нагрева тела ставить 1 балл.

За формулу (1) или учёт её в неявном виде ставить 2 балла

За формулы (2) и (3) или учёт этого соотношения в другом виде (в том числе с выборов иных числовых значений интервалов температур и времени) ставить по 2 балла

За нахождение отношения масс ставить 2 балла.

За получение правильного ответа ставить 1 балл.

За вычислительную ошибку оценку снизить на 1 балл. За ошибку в преобразованиях оценку снизить на 2 балла. В случае ошибочного определения интервалов изменения температур или времени итоговая оценка не должна превышать 5 баллов.

4. «Подбрось-поймай» (10 баллов). Настя стояла на лоджии, а её брат Юра на улице играл в мячик. Юре надоело играть в мяч, но ему лень было идти домой, поэтому он подбежал к дому и предложил Насте поймать мяч. С какой скоростью Юра может подбросить мяч, чтобы сестра его смогла поймать, если расстояние между руками Юры в момент броска и руками Насти в момент поймки равно 9 метров, а Настя может поймать летящий мяч, если его скорость не превышает 3 м/с? При расчётах следует учесть, что мячик небольшой, поэтому силой сопротивления воздуха можно пренебречь. Ускорение свободного падения принять равным $9,8 \text{ м/с}^2$. Ответ указать в м/с с точностью до десятых долей.

4. «Подбрось-поймай». Ответ: от 13,3 м/с до 13,6 м/с. **Решение.** Мяч будет двигаться с ускорением свободного падения. (1) Связь между ускорением, перемещением, начальной и конечной скоростями отражает формула

$$S_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2g_x}, \text{ в проекции на вертикально вверх направленную ось получаем } S = \frac{v_0^2 - v^2}{2g} \quad (2)$$

Начальную скорость мяча находим по формуле $v_0 = \sqrt{2gS + v^2}$ (3)

Минимальная скорость получается при $v = 0$. $v_{0min} = \sqrt{2gS} = 13,3 \text{ м/с}$ (4)

Максимально возможная скорость возле Насти получается при $v = 3 \text{ м/с}$.

Тогда максимальная начальная скорость $v_{0max} = \sqrt{2gS + v^2} = 13,6 \text{ м/с}$

Ответ: скорость мяча может варьироваться в интервале от 13,3 м/с до 13,6 м/с

4. «Подбрось-поймай». Критерии оценки.

При правильном решении, если указан правильный интервал скоростей, то ставить 10 баллов.

Если при правильном решении указано только одно из возможных значений скоростей, то ставить не более 7 баллов.

Если сделана вычислительная ошибка, то надо снизить оценку на 1 балл.

За ошибку в преобразовании формул снизить оценку на 2 балла.

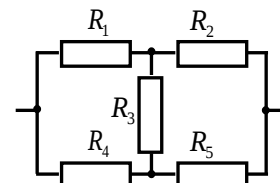
Если задача не решена, то баллы можно ставить при наличии следующих указаний:

- за указание (1) или учёт в неявном виде ставить 1 балл.

- за соотношение (2) или учёт его в неявном виде ставить 1 балл.

- за указание, что минимальная скорость мяча возле рук Насти должна быть равна нулю ставить 1 балл.
- за учёт в расчётах, что максимальная скорость мяча возле рук Насти должна не превышать 3 м/с ставить 1 балл.

5. «Варианты сопротивлений» (10 баллов). Участок цепи состоит из пяти резисторов. Сопротивления четырёх резисторов известны: $R_1 = 3 \text{ Ом}$, $R_2 = 9 \text{ Ом}$, $R_4 = 6 \text{ Ом}$, $R_5 = 18 \text{ Ом}$. Сопротивление R_3 неизвестно. Рассчитайте сопротивление этого участка цепи, если окажется, что сопротивление R_3 а) равно нулю, точнее: пренебрежимо мало по сравнению с сопротивлениями остальных резисторов (3 балла); б) равно бесконечности, точнее: в несколько тысяч раз больше сопротивления каждого из других резисторов (3 балла); в) Если оно равно $R_3 = 10 \text{ Ом}$ (4 балла);.

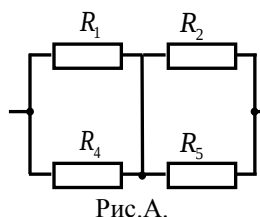


5. «Варианты сопротивлений».

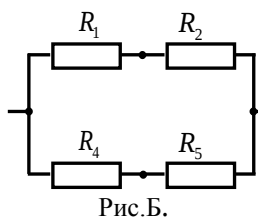
Ответы 1. 8 Ом. 2. 8 Ом. 3. 8 Ом.

Возможное решение:

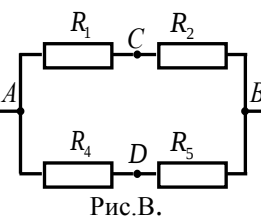
Расчёт сопротивления для случая а). Вместо резистора R_3 можно провести провод, предполагая, что его сопротивление равно нулю (см. рис. А).



Тогда резисторы R_1 и R_4 оказываются подключены параллельно, их общее сопротивление равно 2 Ом, резисторы R_2 и R_5 тоже параллельно, их общее сопротивление равно 6 Ом. Эти пары резисторов подключены последовательно и их общее сопротивление равно 8 Ом.



Расчёт сопротивления для случая б). Вместо резистора R_3 оставляем пустое место – разрыв цепи, т.к. из-за большой величины сопротивления ток через этот участок если и будет, то будет пренебрежимо мал (см. рис. Б).. Тогда резисторы R_1 и R_2 оказываются подключенными последовательно, их общее сопротивление равно 12 Ом, резисторы R_4 и R_5 тоже последовательно и их общее сопротивление равно 24 Ом. Эти пары резисторов подключены параллельно, их общее сопротивление равно 8 Ом.



Расчёт сопротивления для случая в). Можно заметить, что в случаях а) и б) сопротивления оказались одинаковыми, возможно и в третьем случае сопротивление тоже будет 8 Ом.

Попробуем обосновать свою догадку. Вернёмся к случаю, когда резистор R_3 в схеме отсутствует (см. рис. В.). Заметим, что сопротивление верхнего участка ACB в два раза меньше сопротивления нижнего участка ADB, значит в верхнем участке сила тока в 2 раза больше, чем в нижнем. Учитывая, что сопротивление резистора R_1 в два раза меньше сопротивления резистора R_4 , опираясь на закон Ома, приходим к выводу, что напряжение на участке AC равно напряжению на участке AD. Поэтому напряжение между точками C и D равно нулю. Если между этими точками подключить любой проводник, в том числе и резистор R_3 , то ток через него не пойдёт, т.к. напряжение на его концах будет равно нулю. Следовательно, и в третьем случае общее сопротивление всего участка равно 8 Ом.

5. «Варианты сопротивлений». Критерии оценки.

За правильный обоснованный ответ на вопросы а) и б) ставить по 3 балла, на вопрос в) ставить 4 балла. При правильном ответе, но отсутствии обоснования баллы за ответ не ставить.

Правильное обоснование может быть преимущественно словесным (как в авторском примере) или с демонстрацией расчётных формул и самих вычислений. Если ответ неправильный, то за наличие элементов поисковой деятельности можно ставить по 1 баллу при поиске ответов на вопросы а) и б) и до 2 баллов за поиске ответа на вопрос в).

Если сделана вычислительная ошибка, то надо снизить оценку на 1 балл.

За ошибку в преобразовании формул снизить оценку на 2 балла.