

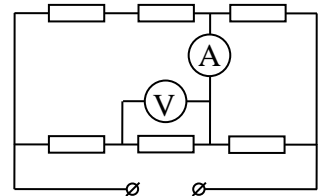
## Решения и критерии оценивания задач

### Заключительного тура олимпиады «Росатом» по физике, 2022-2023 учебный год, 8 класс

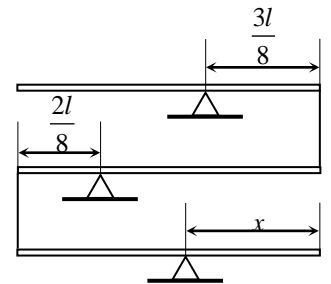
1. В открытый сосуд налили (не до верха) воду объемом  $V = 200$  мл. Когда в сосуд аккуратно опустили металлическую гирьку, которая полностью в него поместилась, из сосуда вылилась вода объемом  $V/5$ . Когда в тот же сосуд налили вдвое меньшее количество воды и положили вдвое более тяжелую гирьку из того же металла, которая полностью в него поместилась, из сосуда вылился объем воды  $V/10$ . Найти объем сосуда.

2. Линия метро содержит  $K = 10$  станций и обслуживается  $N = 18$  поездами, которые ходят с одинаковыми интервалами. Известно, что между соседними станциями поезда движутся в течение времени  $t = 3$  минуты, и проводят на каждой станции время  $t$ . На конечных станциях поезда также стоят в течение времени  $t$ , а потом движутся в обратном направлении. Сколько дополнительных поездов нужно привлечь, когда на линии открыли новую конечную станцию, до которой поезда от старой конечной станции идут в течение времени  $2t$ , чтобы интервалы между поездами сохранились?

3. Имеется электрическая цепь, схема которой приведена на рисунке. В цепи все резисторы одинаковы и равны  $R = 1$  кОм, сопротивление амперметра пренебрежимо мало. Когда к цепи прикладывают напряжение  $U = 120$  В, амперметр показывает силу тока  $I_A = 3$  мА. Найти показания вольтметра.



4. Три одинаковых массивных рычага длиной  $l$  и массой  $m$  каждый расположили друг под другом и связали их концы легкими нерастяжимыми стержнями так, как показано на рисунке. Известно, что расстояние от опоры верхнего рычага до ближайшего конца составляет  $3l/8$ , а расстояние от опоры среднего до его ближайшего конца составляет  $2l/8$ . На каком



расстоянии  $x$  от правого конца расположена опора нижнего рычага, если известно, что система рычагов находится в равновесии? На левый конец верхнего рычага положили точечное тело с массой, равной массе рычага  $m$ . Тело какой массы нужно положить на правый конец нижнего рычага, чтобы равновесие системы сохранилось?

5. Источник постоянного электрического напряжения приложили к прямому цилиндрическому проводнику и пропустили через проводник электрический ток. В результате температура проводника увеличилась на  $\Delta t = 10^\circ\text{C}$  и далее не возрастала. На сколько еще увеличится температура проводника, если его укоротить на одну четверть и приложить к нему тот же самый источник постоянного напряжения? Изменением удельного сопротивления материала проводника при нагревании пренебречь. **Указание.** Мощность теплотеря пропорциональна разности температур тела и окружающей среды, площади контакта между телом и средой, и зависит от геометрии тела, наличия теплоизоляции и т.д. (закон Ньютона-Рихмана).

## Решения и критерии оценивания

1. Пусть объем сосуда равен  $V_0$ , объем первой гирьки -  $v$ . Поскольку в первом случае из сосуда вылился объем воды -  $V/5$ , то условие баланса объемов дает

$$V + v - V_0 = \frac{V}{5} \quad \Rightarrow \quad \frac{4}{5}V + v = V_0 \quad (1)$$

Во втором случае в сосуде был вдвое меньший объем воды, опустили в него гирьку вдвое большего объема, а вылился объем воды  $V/10$ . Поэтому

$$\frac{V}{2} + 2v - V_0 = \frac{V}{10} \quad \Rightarrow \quad \frac{4}{10}V + 2v = V_0 \quad (2)$$

Из системы уравнений (1)-(2) находим

$$V_0 = \frac{6V}{5}$$

**Критерии оценки решения задачи (максимальная оценка за решение – 5 баллов)**

1. Правильный баланс объемов в первом случае - 1 балл
  2. Правильный баланс объемов во втором случае – 1 балл
  3. Правильная система уравнений для объема сосуда, гирек и воды – 1 балл
  4. Правильный ответ – 2 балла
- Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

2. Найдем сначала интервал движения между поездами на старой линии. Время полного цикла для каждого поезда определяется так: время  $2(K-1)$  перегонов между станциями ( $2(K-1)t$ ) и время остановок на станциях – два раза по  $t$  на промежуточных станциях на пути туда и обратно, и один раз по  $t$  на двух конечных станциях ( $2(K-2)t + 2t = 2(K-1)t$ ). Поэтому полный цикл каждый поезд делает за время

$$T = 4(K-1)t$$

И, следовательно, интервал движения между поездами  $\Delta t$  определяется соотношением

$$\Delta t = \frac{4(K-1)t}{N}$$

После введения новой конечной станции время полного цикла увеличится на 2 прохода по  $2t$  до новой конечной станции (туда и обратно) -  $2 \cdot 2t$ , время стоянки на конечной станции -  $t$ , и время стоянки на старой конечной станции (которая уже не конечная, и поезд стоит на ней дважды) -  $t$ . Т.е. время полного цикла возрастет на  $6t$ . Поэтому интервалы между поездами на новой линии определяются соотношением

$$\Delta t = \frac{4(K-1)t + 6t}{N_1} = \frac{2(2K+1)t}{N_1}$$

Где  $N_1$  - число поездов на новой линии. Так как по условию интервал движения сохранился, имеем

$$\frac{4(K-1)t}{N} = \frac{2(2K+1)t}{N_1}$$

Отсюда новое количество поездов на линии равно

$$N_1 = \frac{4(K-1)t}{N} = \frac{(2K+1)N}{2(K-1)}$$

И, следовательно, количество поездов на линии нужно увеличить на

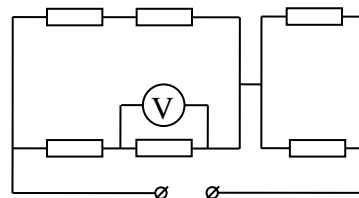
$$\Delta N = N_1 - N = \frac{(2K+1)N}{2(K-1)} - N = \frac{(2K+1)N}{2(K-1)} - \frac{2(K-1)N}{2(K-1)} = \frac{3N}{2(K-1)} = 3$$

поезда.

**Критерии оценки решения задачи (максимальная оценка за решение – 5 баллов)**

1. Правильное нахождение полного времени движения поездов (цикла) на старой линии - 1 балл
  2. Правильное нахождение интервала времени между поездами на старой линии – 1 балл
  3. Правильное нахождение полного времени движения поездов на новой линии – 1 балл
  4. Использование одинаковости интервала между поездами на старой и новой линиях – 1 балл
  5. Правильный ответ – 1 балл
- Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

3. Поскольку амперметр не имеет сопротивления, данная в условии цепь может быть перерисована так, как это показано на рисунке справа.



Пусть ток через два левых верхних резистора равен  $I_1$ . Тогда

ток через правый верхний резистор равен -  $I_1 + I_A$ , и по закону Ома для верхней ветви имеем

$$U = I_1 2R + (I_1 + I_A)R$$

Отсюда

$$I_1 = \frac{U - I_A R}{3R}$$

Для нижней ветви имеем

$$U = I_2 R + V + (I_1 + I_A)R$$

где  $I_2$  - ток через левый нижний резистор,  $V$  показания вольтметра. Здесь учтено, что токи через правый верхний и правый нижний резисторы одинаковы. С другой стороны,  $I_1 + I_2$  - есть ток в цепи, т.е.  $2(I_1 + I_A)$ . Поэтому  $I_2 = I_1 + 2I_A$ , и из предыдущей формулы находим

$$V = \frac{1}{3}U - \frac{7}{3}I_A R = 33 \text{ В}$$

**Критерии оценки решения задачи (максимальная оценка за решение – 5 баллов)**

1. Правильная эквивалентная цепь – замыкание верхней и нижней ветвей цепи в месте расположения амперметра - 1 балл
  2. Правильный расчет напряжения на верхней ветви цепи – 1 балл
  3. Правильный расчет напряжения на нижней ветви цепи – 1 балл
  4. Одинаковость токов через правый-верхний и правый-нижний резисторы – 1 балл
  5. Правильный ответ для показаний вольтметра – 1 балл
- Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

4. Поскольку центр тяжести верхнего стержня находится левее точки опоры верхнего рычага, верхний-правый стержень натянут и действует на верхний рычаг с силой  $T_1$ , направленной вертикально вниз. Условие равновесия верхнего рычага дает

$$mg \left( \frac{l}{2} - \frac{3l}{8} \right) = T_1 \frac{3l}{8}$$

Отсюда

$$T_1 = \frac{mg}{3}$$

А так как верхний-правый стержень натянут, он действует на средний рычаг с силой, направленной вертикально вверх. Поэтому условие равновесия среднего стержня дает

$$T_2 \frac{l}{4} = mg \left( \frac{l}{2} - \frac{l}{4} \right) - T_1 \frac{3l}{4}$$

где  $T_2$  - сила натяжения левого-нижнего стержня. Отсюда получаем, что  $T_2 = 0$ , и в равновесии нижний рычаг опирается на опору своей серединой:

$$x = \frac{l}{2}$$

Если на левый конец верхнего стержня положить тело массой  $m$ , то сила натяжения правого-верхнего стержня увеличится на величину  $\Delta T_1 = \frac{5}{3}mg$ . Поэтому нижний стержень будет сжат и действовать на средний рычаг силой, направленной сила вертикально вверх и равной

$$\Delta T_2 \frac{l}{4} = \frac{5}{3}mg \frac{3l}{4} \quad \Rightarrow \quad \Delta T_2 = 5mg$$

Следовательно, на нижний рычаг левый-нижний стержень действует с силой, направленной вертикально вниз и равной  $5mg$ . А поскольку опора нижнего рычага находится посередине, на его правый конец нужно положить тело массой  $5m$ .

**Критерии оценки решения задачи (максимальная оценка за решение – 5 баллов)**

1. Правильные условия равновесия верхнего рычага - 1 балл
  2. Правильно найдена сила натяжения верхнего-правого стержня – 1 балл
  3. Правильное условие равновесия среднего рычага – 1 балл
  4. Правильная сила натяжения левого-нижнего стержня – 1 балл
  5. Правильный ответ для массы тела, сохраняющего в равновесии нижний рычаг – 1 балл
- Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

5. Поскольку температура проводника перестала возрастать при достижении ею определенного значения, в задаче необходимо учитывать теплопотери. В установившемся режиме мощность теплопотерь равна выделяемой в проводнике мощности. Поэтому согласно указанию к условию имеем

$$\frac{U^2}{R} = kS\Delta t$$

где  $k$  - коэффициент пропорциональности в законе Ньютона-Рихмана,  $S$  - площадь боковой поверхности проводника,  $\Delta t$  - разность температур проводника и окружающей среды.

Когда от проводника отрезали одну четверть, его новое сопротивление стало составлять три четверти от его старого сопротивления, также на одну четверть уменьшилась площадь боковой поверхности проводника. Поэтому закон Ньютона-Рихмана для нового проводника, подключенного к тому же источнику напряжения, дает

$$\frac{U^2}{(3R/4)} = k(3S/4)\Delta t_1$$

где  $\Delta t_1$  - новая разность температур между проводником и окружающим воздухом. При этом коэффициент пропорциональности остается точно таким же, как и в первом случае, поскольку не меняется геометрия проводника и его теплоизоляционные свойства. Деля эти формулы друг на друга, получим

$$\Delta t_1 = \left(\frac{4}{3}\right)^2 \Delta t$$

Поэтому температура проводника увеличится по сравнению с первым случаем на

$$\Delta T = \Delta t_1 - \Delta t = \left(\left(\frac{4}{3}\right)^2 - 1\right) \Delta t = \frac{7}{9} \Delta t = 7,8^\circ \text{C}$$

**Критерии оценки решения задачи (максимальная оценка за решение – 5 баллов)**

1. Правильный закон Джоуля-Ленца – 1 балл
2. Правильное условие теплового равновесия в первом случае - 1 балл
3. Правильный коэффициент пропорциональности в мощности теплотерь – 1 балл
4. Правильное условие теплового равновесия во втором случае – 1 балл
5. Правильный ответ – 1 балл

Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

**Оценка работы**

Оценка работы складывается из оценки задач. Максимальная оценка – 25 баллов. Допустимыми являются все целые оценки от 0 до 25.