

**Решения и критерии оценивания решений задач
Заключительного тура олимпиады «Росатом» по физике,
2024-2025 учебный год, 9 класс**

1. Пусть с начала движения самого первого кубика прошло время t . Поскольку время столкновений кубиков мало, то за это время в движение будет вовлечено столько кубиков сколько расстояний между кубиками пройдет первый кубик в цепочке. И хотя этот кубик все время разный, он имеет одну и ту же скорость v . Поэтому за это время в движение будут вовлечены такое количество N кубиков, что

$$N < \frac{vt}{b} < N+1 \quad \text{или} \quad N = \left[\frac{vt}{b} \right]$$

Здесь символом $[...]$ обозначена целая часть числа. Длина L цепочки вовлеченных в движение кубиков равна

$$L = Na = \left[\frac{vt}{b} \right] a$$

Поскольку по условию время t очень большое, то длина цепочки вовлеченных в движение кубиков приближенно равна

$$L = \frac{avt}{b}$$

Поэтому средняя скорость возрастания длины цепочки вовлеченных в движение кубиков равна

$$v_{cp} = \frac{L}{t} = \frac{av}{b}$$

Как видно из этой формулы, средняя скорость возрастания длины цепочки вовлеченных в движение кубиков не зависит от времени. Но отсутствие такой зависимости, конечно, приближенное, поскольку длина цепочки меняется дискретно, а время течет непрерывно. Поэтому длина цепочки лежит в интервале

$$\frac{avt}{b} < L < \frac{avt}{b} + a$$

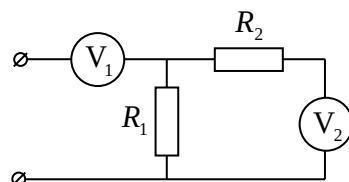
что отвечает такому интервалу для средней скорости

$$\frac{av}{b} < v_{cp} < \frac{av}{b} + \frac{a}{t} = a \left(\frac{v}{b} + \frac{1}{t} \right)$$

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

- 1. Правильно использована формула «расстояние-время-скорость» – 1 балл**
 - 2. Правильно найдено число кубиков, вовлеченных в движение за время t - 1 балл**
 - 3. Правильно найдена длина этой цепочки – 1 балл**
 - 4. Правильный ответ для средней скорости увеличения длины цепочки, вовлеченных в движение кубиков - 1 балл**
 - 5. Правильно указан интервал значений средней скорости – 1 балл**
- Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.**

2. Так как каждый вольтметр показывает напряжение на самом себе, а ток, текущий через вольтметр V_2 (см. рисунок), меньше тока, текущего через



вольтметр V_1 , а вольтметры одинаковые, то из закона Ома для вольтметров следует, что показание $U_1 = 10$ В относится к вольтметру V_1 , а показание $U_2 = U_1 / 10$ относится к вольтметру V_2 .

Далее. Пусть через вольтметр V_1 течет электрический ток силой I . Тогда через вольтметр V_2 течет ток силой $I / 10$ (т.к. он показывает в 10 раз меньшее напряжение), а, значит, через резистор R_1 течёт электрический ток силой $8I / 10$. А так как на резисторе R_1 и резисторе R_2 и вольтметре одинаковое напряжение, то из закона Ома имеем

$$\frac{9I}{10} R = \frac{I}{10} (R + r_v)$$

где R и r_v - сопротивления резистора и вольтметра. Отсюда находим сопротивление вольтметра

$$r_v = 8R = 16 \text{ кОм.}$$

Теперь легко найти напряжение, приложенное к цепи. Т.к. сопротивление резистора в 8 раз меньше сопротивления вольтметра, а вольтметр V_2 показывает напряжение $U_1 / 10$, то напряжение на резисторе R_2 составит $U_1 / 80$. Поэтому к цепи приложено следующее напряжение U

$$U = U_1 + \frac{1}{10} U_1 + \frac{1}{80} U_1 = \frac{89}{80} U_1 = 11,1 \text{ В.}$$

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

- 1. Правильно соотнесены показания вольтметров с вольтметрами на схеме – 1 балл**
 - 2. Использованы правильные соотношения между токами и напряжениями при последовательном и параллельном соединении резисторов - 1 балл**
 - 3. Правильное уравнение для сопротивления вольтметра через закон Ома для резистора R_1 и участка, содержащего R_2 и V_2 – 1 балл**
 - 4. Правильный ответ для сопротивления вольтметра - 1 балл**
 - 5. Правильный ответ для напряжения, приложенного к цепи – 1 балл**
- Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.**

3. Поскольку потерями тепла в окружающее пространство по условию можно пренебречь, то, если бы мы грели только воду, во втором случае нам потребовалось бы в полтора раза больше времени для нагревания, чем в первом (т.е. 7,5 минут). А нам потребовалось 7 минут, т.е. меньше. Это значит, что кроме нагрева воды тепло тратится куда-то еще. Теплопотерь по условию нет, поэтому остается единственная возможность потерь – нельзя пренебречь теплоемкостью самого чайника. Давайте, учтем ее в уравнениях теплового баланса.

Пусть мощность нагревателя чайника P , и для нагревания объема V_1 от комнатной температуры до температуры кипения нужно количество теплоты Q , а для нагревания чайника – количество теплоты q . Тогда уравнение теплового баланса для нагревания объема воды V дает

$$Pt_1 = Q + q$$

Во втором случае мы нагреваем тот же чайник, и в полтора раза большее количество воды. Поэтому

$$Pt_2 = \frac{3}{2} Q + q$$

Решая эту систему уравнений относительно Q и q , получим

$$Q = 2P(t_2 - t_1), \quad q = P(3t_1 - 2t_2).$$

Рассмотрим теперь нагревание втрое большего количества воды, чем в первом случае. Уравнение теплового баланса дает

$$Pt_3 = 3Q + q$$

где t_3 - время нагрева чайника с объемом воды $3V$. Подставляя в эту формулу величины Q и q , получим

$$t_3 = 4t_2 - 3t_1 = 13 \text{ мин.}$$

Критерии оценивания (максимальная оценка за задачу – 5 баллов)

1. Правильный вывод (с обоснованием), что нужно учитывать теплоемкость чайника – 1 балл
2. Правильная система уравнений теплового баланса для нагревания первой и второй порций воды – 1 балл
3. Правильное выражение для количества теплоты, необходимого для нагревания объема воды V до кипения – 1 балл
4. Правильное выражение для количества теплоты, необходимого для нагревания чайника от комнатной температуры до температуры кипения воды – 1 балл
5. Правильный ответ (формула и число) – 1 балл

4. Силы, действующие на тела, показаны на рисунке. Это две силы тяжести $m\vec{g}$ и $3m\vec{g}$ и силы натяжения нитей $\vec{T}_1$ и $\vec{T}_2$ (см. рисунок). Второй закон Ньютона для тел дает

$$m\vec{a}_1 = m\vec{g} + \vec{T}_1$$

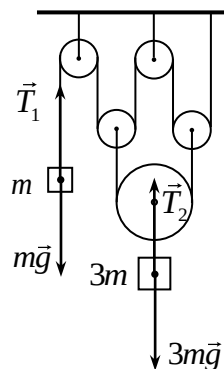
$$3m\vec{a}_2 = 3m\vec{g} + \vec{T}_2$$

где $\vec{a}_1$ и $\vec{a}_2$ - ускорения тел (a_1 - ускорение тела массой m , a_2 - тела массой $2m$). Спроецируем эти законы на оси, направленную вверх для меньшего тела, и вниз для большего. Получим

$$ma_1 = T_1 - mg$$

$$3ma_2 = 3mg - T_2$$

(здесь a_1 и a_2 - проекции ускорений тел на указанные оси). Поскольку блоки невесомы, то суммы сил, действующих на каждый из них, равны нулю. Поэтому сила натяжения нитей, прикрепленных к осям двух маленьких подвижных блоков, равны $2T_1$, а сила натяжения нити, прикрепленной к большому телу - $T_2 = 4T_1$. Установим теперь связь ускорений. Если маленькое тело опустится вниз на величину Δx , то нить справа от самого левого блока укоротится на Δx . Это приведет к подъему двух маленьких подвижных блоков на $\Delta x/4$ каждого. М, следовательно, большой груз поднимется на величину $\Delta x/4$. Поэтому скорость маленького тела в любой момент времени вчетверо меньше скорости большого, и, следовательно ускорение: $a_1 = 4a_2$. В результате наша система уравнений станет такой



$$\begin{aligned}4ma_2 &= T_1 - mg \\3ma_2 &= 3mg - 4T_1\end{aligned}$$

Решая эту систему уравнений, найдем

$$a_2 = -\frac{1}{19}g$$

Это значит, что больший груз будет двигаться с ускорением $g/19$, направленным вверх, а меньший груз – с ускорением $4g/19$, направленным вниз.

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

1. Правильно расставлены силы, действующие на тела, правильный чертеж с силами – 1 балл
 2. Правильный второй закон Ньютона для тел - 1 балл
 3. Правильная связь сил натяжения – 1 балл
 4. Правильная связь ускорений – 1 балл
 5. Правильный ответ для величин и направлений ускорений тел – 1 балл
- Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

5. Разобьем весь путь $S_0/2$, пройденный телом, на малые участки, настолько малые, что движение тела на каждом участке можно считать равноускоренным. Для равноускоренного движения в одном направлении с возрастанием скорости справедливо соотношение

$$\frac{v_k^2}{2} - \frac{v_n^2}{2} = a\Delta S \quad (*)$$

где v_k и v_n скорость тела в конце и в начале рассматриваемого участка пути ($v_k > v_n$), a проекция ускорения на ось движения ($a > 0$), ΔS - пройденный телом путь. Такие же соотношения будут справедливы для любого участка движения, причем скорость, которая является конечной для одного участка, будет начальной для следующего. Поэтому если сложить формулы (*) для всех участков пути, квадраты скоростей за исключением квадрата начальной и квадрата конечной (для всего движения) скоростей сократятся. Поэтому

$$\frac{v_1^2}{2} - \frac{v_0^2}{2} = (a_1\Delta S_1 + a_2\Delta S_2 + a_3\Delta S_3 + \dots)$$

где v_0 - начальная скорость тела, v_1 - искомая скорость тела при прохождении им пути $S_0/2$, а вот сумма в скобках имеет такой же математический смысл, как сумма величин $F_i\Delta x_i$, которую приходится вычислять при вычислении работы переменной силы. Поэтому эта сумма может быть найдена как площадь под графиком зависимости ускорения тела от пройденного пути, который должен меняться в нужных нам пределах – от нуля до $S_0/2$. Поскольку фигура, ограниченная графиком, горизонтальной осью и вертикальными прямыми $S=0$ и $S=S_0/2$, есть трапеция, ее площадь находится как

$$a_1\Delta S_1 + a_2\Delta S_2 + a_3\Delta S_3 + \dots = \frac{(a_0 + 2a_0)}{2} \frac{S_0}{2} = \frac{3}{4}a_0S_0$$

Отсюда находим конечную скорость тела

$$v_1 = \sqrt{v_0^2 + \frac{3}{2} a_0 S_0}$$

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

- 1. Правильная идея решения – разбиение движения на отдельные равноускоренные движения - 1 балл**
- 2. Правильное использование уравнения $v_k^2 - v_n^2 = 2a\Delta S$ для каждого элементарного равноускоренного движения – 1 балл**
- 3. Обосновано сведение разности квадратов конечной и начальной скоростей к площади под графиком ускорения от пройденного пути – 1 балл**
- 4. Правильно вычислена площадь под графиком – 1 балл**
- 5. Правильный ответ – 1 балл**

Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

Примечание. Если школьник решает задачу по закону изменения механической энергии, вычисляя по данному графику работу равнодействующей силы, то при правильном ответе и комментарии, что данный график позволяет вычислить работу равнодействующей силы, такое решение должно быть оценено полным баллом.

Оценка работы

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