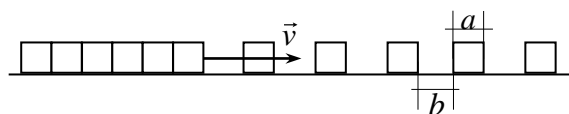


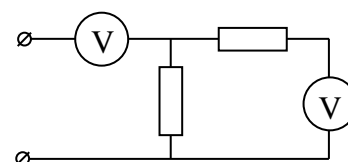
**Решения и критерии оценивания решений задач  
Заключительного тура олимпиады «Росатом» по физике,  
2024-2025 учебный год, 9 класс**

**1.** Очень много одинаковых кубиков с размером ребра  $a$  расположили вдоль одной прямой на горизонтальной поверхности. расстояние между ближайшими гранями



соседних кубиков равно  $b$ . Грани кубиков параллельны. Самый левый кубик начали двигать с постоянной скоростью  $v$  в направлении остальных кубиков, вовлекая их в движение с той же скоростью  $v$  (см. рисунок). Найти среднюю (за достаточно большое время) скорость возрастания длины цепочки из вовлеченных в движение кубиков. В каких пределах может меняться эта скорость в зависимости от времени, за которое она вычисляется? Считать, что время столкновения кубиков очень мало.

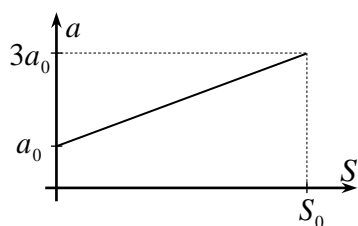
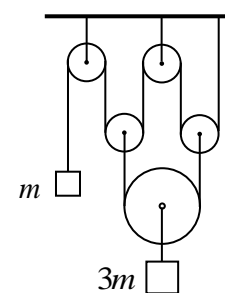
**2.** В электрической цепи, схема которой показана на рисунке, один из двух одинаковых вольтметров показывает напряжение  $U_1 = 10$  В, второй -  $U_2 = U_1/10$ . Известно, что резисторы одинаковые и имеют



сопротивление  $R = 2$  кОм. Найти электрическое напряжение, приложенное к цепи, и сопротивление вольтметров.

**3.** В три одинаковых чайника налили следующие объемы воды комнатной температуры:  $V_1 = V = 1$  л,  $V_2 = 3V/2$  л и  $V_3 = 3V$  л. Вода в первом чайнике закипела через время  $t_1 = 5$  мин после включения, во втором – через  $t_2 = 7$  мин после включения. Через какое время после включения закипит вода в третьем чайнике? Потерями тепла в окружающее пространство пренебречь.

**4.** В системе, изображенной на рисунке, все блоки невесомы, нити – невесомы и нерастяжимы. Массы грузов равны  $m$  и  $3m$ . Найти ускорения грузов.



**5.** Тело движется в положительном направлении оси  $Ox$  с переменным ускорением. На рисунке представлен график зависимости проекции ускорения тела на ось  $Ox$  от пройденного им пути (величины  $a_0$  и  $S_0$  - известны). Найти мгновенную скорость тела в тот момент времени, когда оно пройдет расстояние  $S_0/2$  с начала движения. Начальная скорость тела  $v_0$  известна.

## Решения и критерии оценивания решений задач

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

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

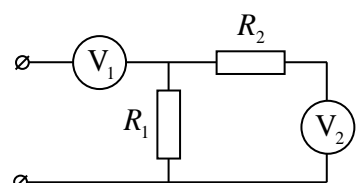
что отвечает такому интервалу для средней скорости

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

**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. Используются 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

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

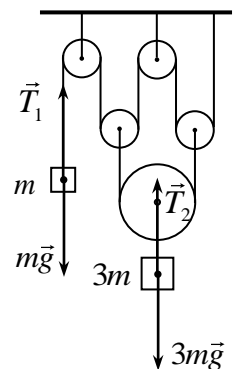
$$3m\vec{a}_2 = 3m\vec{g} + \vec{T}_2$$

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  $\Delta x$ , то нить справа от самого левого блока укоротится на  $\Delta x$ . 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



$$4ma_2 = T_1 - mg$$

$$3ma_2 = 3mg - 4T_1$$

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 ( $a > 0$ ),  $\Delta S$  - 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.**