ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

ПО ФИЗИКЕ 2016–2017 УЧ. Г.

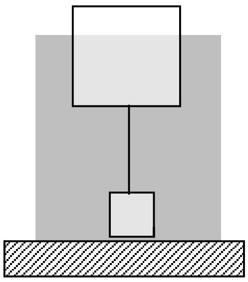
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП

9 КЛАСС

Задача 1 (10 баллов)

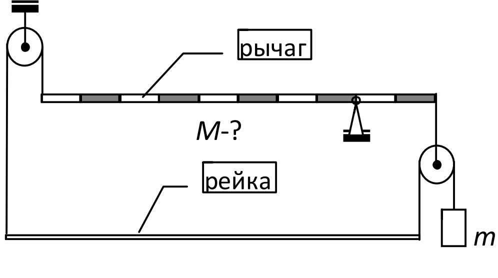
Массивная горизонтальная плита движется вниз с постоянной скоростью $V = 4$ м/с. Над плитой на нити неподвижно относительно земли висит мячик. В тот момент, когда расстояние между плитой и мячиком было равно $h = 1$ м, нить оборвалась.
1) Через какое время после обрыва нити мячик догонит плиту?
2) На какое максимальное расстояние от плиты удалится мячик после абсолютно упругого отскока?
3) Через какое время после первого удара о плиту мячик во второй раз догонит её? Ускорение свободного падения принять равным $g = 10$ м/с^2.

Задача 2 (10 баллов)



Два кубика, связанные **натянутой** нитью, находятся в воде (см. рисунок). Верхний кубик со стороной $a = 10$ см плавает, погрузившись в воду на три четверти своего объёма. Нижний кубик касается дна (вода под него подтекает). Сторона нижнего кубика равна $a/2$, а его плотность в 2 раза больше, чем у верхнего. Определите, при каких значениях плотности материала верхнего кубика возможно такое состояние системы. Плотность воды $\rho_0 = 1000$ кг/м^3, ускорение свободного падения можно принять равным $g = 10$ м/с^2.

Задача 3 (10 баллов)



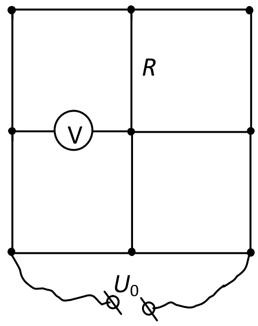
Система состоит из однородного рычага, однородной рейки и груза массой $m = 0{,}6$ кг, соединённых лёгкими нитями, переброшенными через невесомые блоки. При какой массе M рычага возможно равновесие системы? Трения в системе нет. Участки нитей, не лежащие на блоках, вертикальны.

Задача 4 (10 баллов)

Медный кубик со стороной a, брошенный в калориметр с водой, нагрел её от температуры $t_1 = 20$ °C до температуры $t_2 = 25$ °C. Если бы вместо этого кубика в воду бросили медный кубик со стороной $2a$ и с той же начальной температурой, то вода нагрелась бы до температуры $t_3 = 44$ °C. Какова начальная температура медного кубика? Что больше – масса воды в калориметре или масса медного кубика со стороной a? Потерями теплоты и теплоёмкостью калориметра можно пренебречь. Удельная теплоёмкость меди $c_м = 380$ Дж/(кг·°C), удельная теплоёмкость воды $c_в = 4200$ Дж/(кг·°C).

Задача 5 (10 баллов)

Электрическая цепь представляет собой проволочную сетку, состоящую из звеньев, имеющих одинаковые сопротивления R. Одно звено заменено на вольтметр, сопротивление которого тоже равно R. К сетке подключён источник напряжения $U_0 = 10$ В так, как показано на рисунке. Найдите показание вольтметра.



Всего за работу – 50 баллов.

Решения и критерии оценивания

Задача 1

Массивная горизонтальная плита движется вниз с постоянной скоростью $V = 4$ м/с. Над плитой на нити неподвижно относительно земли висит мячик. В тот момент, когда расстояние между плитой и мячиком было равно $h = 1$ м, нить оборвалась. 1) Через какое время после обрыва нити мячик догонит плиту? 2) На какое максимальное расстояние от плиты удалится мячик после абсолютно упругого отскока? 3) Через какое время после первого удара о плиту мячик во второй раз догонит её? Ускорение свободного падения принять равным $g = 10$ м/с^2.

Возможное решение

Направим ось x вниз, совместив начало координат с начальным положением мячика. Тогда законы движения для мячика и плиты, соответственно, запишутся в виде: $x_1 = \frac{gt^2}{2}$, $x_2 = h + Vt$.

К моменту времени t_1, когда мячик догонит плиту, их координаты будут равны, значит, $\frac{gt_1^2}{2} = h + Vt_1 \;\; \Rightarrow \;\; t_1 = \frac{V+\sqrt{V^2+2gh}}{g} = 1$ с.

К этому моменту скорость мячика будет равна $u = gt_1 = 10$ м/с. После абсолютно упругого отскока от движущейся плиты у мячика будет скорость $u - 2V = 2$ м/с, направленная вверх.

Перейдём в систему отсчёта, связанную с плитой. В этой системе отсчёта скорость мячика сразу после абсолютно упругого отскока от плиты равна $V' = 6$ м/с и направлена вверх. Тогда максимальное расстояние, на которое удалится мячик от плиты после отскока, равно $s_{max} = \frac{V'^2}{2g} = 1{,}8$ м. Второй раз после первого удара мячик догонит плиту через время $t_2 = 2 \cdot \sqrt{\frac{2s_{max}}{g}} = 1{,}2$ с.

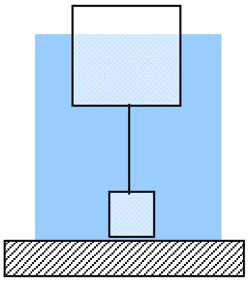
Критерии оценивания

Правильно записан закон движения мячика ....**1 балл**
Правильно записан закон движения плиты ....**1 балл**
Найдено время, через которое мячик первый раз догонит плиту (1) ....**2 балла**
Найдено максимальное расстояние, на которое удалится мячик от плиты после отскока (2) ....**3 балла**
Найдено время t_2 (3) ....**3 балла**

За каждое верно выполненное действие баллы складываются.
При арифметической ошибке (в том числе ошибке при переводе единиц измерения) оценка снижается на 1 балл.

Максимум за задание – **10 баллов**.

Задача 2



Два кубика, связанные **натянутой** нитью, находятся в воде (см. рисунок). Верхний кубик со стороной $a = 10$ см плавает, погрузившись в воду на три четверти своего объёма. Нижний кубик касается дна (вода под него подтекает). Сторона нижнего кубика равна $a/2$, а его плотность в 2 раза больше, чем у верхнего. Определите, при каких значениях плотности материала верхнего кубика возможно такое состояние системы. Плотность воды $\rho_0 = 1000$ кг/м^3, ускорение свободного падения можно принять равным $g = 10$ м/с^2.

Возможное решение

Пусть объём нижнего кубика V, тогда объём верхнего $8V$, и в воду погружена его часть объёмом $6V$. При малой плотности верхнего кубика система отрывается от дна и нарушается условие сохранения контакта нижнего кубика с дном. Минимально возможное значение плотности ρ_1 верхнего кубика соответствует обращению в ноль силы реакции опоры, действующей на нижний кубик ($N = 0$). Из условия равновесия для всей системы в этом случае следует: $\rho_0 g \cdot 6V + \rho_0 gV = \rho_1 g \cdot 8V + 2\rho_1 gV$. Отсюда $\rho_1 = \frac{7}{10}\rho_0 = 700$ кг/м^3.

При максимально возможной плотности верхнего кубика ρ_2 он плавает при объёме погружённой части $6V$, не натягивая нить (T=0). Условие плавания верхнего кубика в этом случае имеет вид:

$$\rho_0 g \cdot 6V = \rho_2 g \cdot 8V \text{, откуда } \rho_2 = \frac{3}{4}\rho_0 = 750 \text{ кг/м}^3.$$

Окончательно, чтобы выполнялись требования условия задачи, плотность верхнего кубика должна лежать в диапазоне 700 кг/м^3 $< \rho <$ 750 кг/м^3.

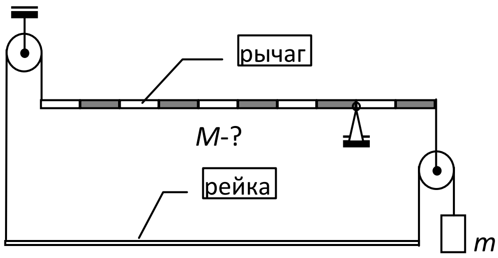
Критерии оценивания

Проведён анализ возможного поведения системы при граничных значениях плотностей..........**1 балл**
Записано условие плавания всей системы в случае $N = 0$ ....**1 балл**
Получено выражение для минимальной плотности верхнего кубика..........**2 балла**
Найдено численное значение минимальной плотности верхнего кубика..........**1 балл**
Записано условие плавания верхнего кубика в случае $T = 0$..........**1 балл**
Получено выражение для максимальной плотности верхнего кубика..........**2 балла**
Найдено численное значение максимальной плотности верхнего кубика ....**1 балл**
Явно указан диапазон допустимых плотностей верхнего кубика..........**1 балл**

За каждое верно выполненное действие баллы складываются.
При арифметической ошибке (в том числе ошибке при переводе единиц измерения) оценка снижается на 1 балл.
Максимум за задание **– 10 баллов**.

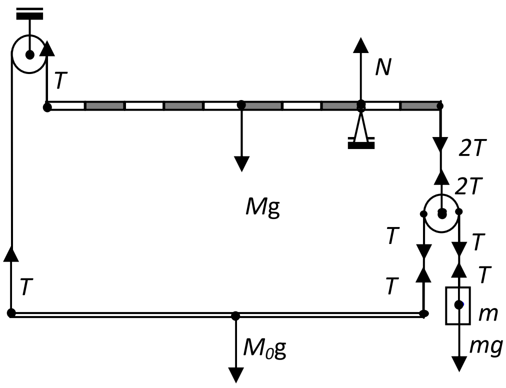
Задача 3

Система состоит из однородного рычага, однородной рейки и груза массой $m = 0{,}6$ кг, соединённых лёгкими нитями, переброшенными через невесомые блоки. При какой массе M рычага возможно равновесие системы? Трения в системе нет. Участки нитей, не лежащие на блоках, вертикальны.



Возможное решение

Изобразим на рисунке силы, действующие на отдельные элементы системы. Из правила моментов для рейки, записанного относительно её центра, следует, что силы натяжения действующих на неё нитей одинаковы – обозначим их модули через T.



Из условия равновесия невесомого подвижного блока можно найти силу натяжения нити, действующую на правый конец рычага, – её модуль равен $2T$. Тогда из правила моментов для рычага, записанного относительно точки его опоры, получим: $T \cdot 8L + 2T \cdot 2L = 3Mg \cdot L$. Отсюда, с учётом условия равновесия груза $mg = T$, получим: $M = 4m = 2{,}4$ кг.

Критерии оценивания

Обосновано равенство сил натяжения нитей, действующих на рейку.......**2 балла**
Применено условие невесомости блока...**1 балл**
Применено условие равновесия груза..**1 балл**
Записано правило моментов для рычага..**3 балла**
Получено выражение для массы рычага...**2 балла**
Получен численный ответ для массы рычага...**1 балл**

За каждое верно выполненное действие баллы складываются.
При арифметической ошибке (в том числе ошибке при переводе единиц измерения) оценка снижается на 1 балл.
Максимум за задание **– 10 баллов**.

Задача 4

Медный кубик со стороной a, брошенный в калориметр с водой, нагрел её от температуры $t_1 = 20$ °С до температуры $t_2 = 25$ °С. Если бы вместо этого кубика в воду бросили медный кубик со стороной $2a$ и с той же начальной температурой, то вода нагрелась бы до температуры $t_3 = 44$ °С. Какова начальная температура медного кубика? Что больше – масса воды в калориметре или масса медного кубика со стороной a? Потерями теплоты и теплоёмкостью калориметра можно пренебречь. Удельная теплоёмкость меди $c_м = 380$ Дж/(кг·°С), удельная теплоёмкость воды $c_в = 4200$ Дж/(кг·°С).

Возможное решение

Пусть t – начальная температура медного кубика, $m_в$ – масса воды, $m_м$ – масса кубика со стороной a, тогда $8m_м$ – масса кубика со стороной $2a$. Уравнения теплового баланса для первого и второго случаев, соответственно, запишутся в виде:

$$c_м m_м (t - t_2) = c_в m_в (t_2 - t_1),$$
$$8 c_м m_м (t - t_3) = c_в m_в (t_3 - t_1).$$

Решая данную систему уравнений, получаем:

$$t = \frac{8t_3\frac{t_2 - t_1}{t_3 - t_1} - t_2}{8\frac{t_2 - t_1}{t_3 - t_1} - 1} = 72{,}5 \text{ °С}.$$

Из первого уравнения найдём отношение масс медного кубика со стороной a и воды:

$$\frac{m_м}{m_в} = \frac{c_в (t_2 - t_1)}{c_м (t - t_2)} \approx 1{,}16 > 1.$$

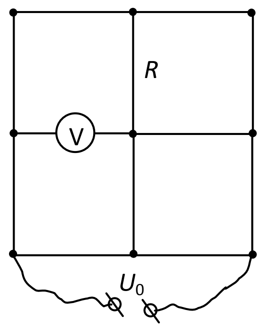
Следовательно, масса кубика больше массы воды.

Критерии оценивания

Записано уравнение теплового баланса для первого случая ....**3 балла**
Записано уравнение теплового баланса для второго случая ....**3 балла**
Использована связь между массами кубиков...**1 балл**
Найдена начальная температура медного кубика.......................................**2 балла**
Показано, что масса кубика со стороной a больше массы воды..................**1 балл**

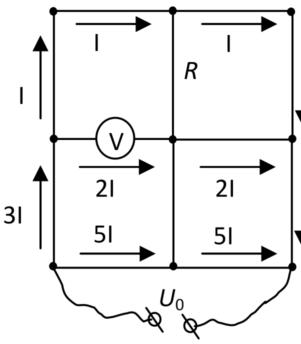
За каждое верно выполненное действие баллы складываются.
При арифметической ошибке (в том числе ошибке при переводе единиц измерения) оценка снижается на 1 балл.
Максимум за задание **– 10 баллов**.

Задача 5



Электрическая цепь представляет собой проволочную сетку, состоящую из звеньев, имеющих одинаковые сопротивления R. Одно звено заменено на вольтметр, сопротивление которого тоже равно R. К сетке подключён источник напряжения $U_0 = 10$ В так, как показано на рисунке. Найдите показание вольтметра.

Возможное решение



Изобразим схематически токи, текущие в звеньях сетки, учитывая её симметрию и закон Ома для участка цепи. Согласно этому закону, силы тока в параллельных звеньях, находящихся под одинаковым напряжением, обратно пропорциональны сопротивлениям этих звеньев. При изображении токов также нужно учитывать закон сохранения электрического заряда для узлов сетки – сумма токов, втекающих в узел, должна быть равна сумме токов, вытекающих из узла. Кроме того, заметим, что в силу симметрии схемы токи через средние вертикальные проводники не текут.

Если через верхние звенья течёт ток силой I, то через вольтметр течёт ток силой $2I$ (так как ток I течёт через звенья с общим сопротивлением $4R$, а ток $2I$ – через вольтметр и звено с общим сопротивлением $2R$). Ток силой $3I$ течёт через участок цепи с общим сопротивлением $10R/3$ – этот участок включает в себя все элементы, кроме двух нижних горизонтальных звеньев. Это означает, что через два нижних горизонтальных звена с суммарным сопротивлением $2R$ течёт ток силой $5I$. Напряжение на этих двух нижних звеньях равно $U_0 = 10IR$. Для вольтметра можно записать: $U_V = 2IR$. Отсюда $U_V = U_0/5 = 2$ В.

Критерии оценивания

Указано на отсутствие протекания токов через средние вертикальные проводники..**1 балл**
Найдена связь между током, текущим через вольтметр, и токами в других частях цепи..**3 балла**
Установлена связь между напряжением источника и током, текущим в какой-либо части цепи (например, в нижней ветви) ....**2 балла**
Установлена связь между показанием вольтметра и током, текущим через него..**1 балл**

Получено выражение для связи напряжения источника и показания вольтметра..**2 балла**
Получен численный ответ для показания вольтметра ....**1 балл**

При решении с помощью построения эквивалентной схемы:

Указано на отсутствие протекания токов через средние вертикальные проводники ....**1 балл**
Правильно составлена эквивалентная схема…………………………….**2 балла**
Правильно определено полное сопротивление электрической цепи…..…**3 балла**
Правильно определён ток, текущий через источник напряжения…..……..**1 балл**
Определён ток, текущий через вольтметр……………………..…..……**2 балла**
Получен численный ответ для показания вольтметра ....**1 балл**

За каждое верно выполненное действие баллы складываются.
При арифметической ошибке (в том числе ошибке при переводе единиц измерения) оценка снижается на 1 балл.
Максимум за задание **– 10 баллов**.

Всего за работу – 50 баллов.

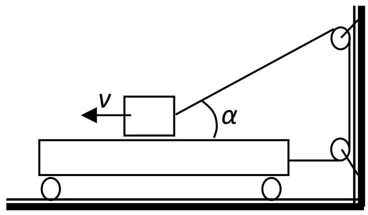
ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

ПО ФИЗИКЕ 2016–2017 УЧ. Г.

МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП

10 КЛАСС

Задача 1 (10 баллов)

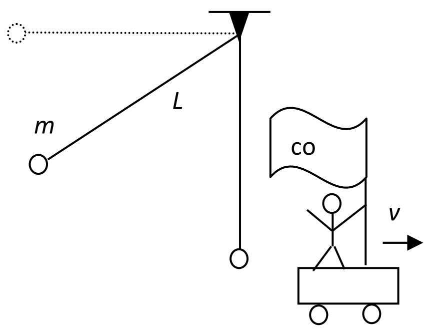


Небольшой брусок через систему блоков связан нерастяжимой нитью с длинной тележкой, которая может катиться по горизонтальной поверхности. Брусок кладут на тележку и приводят в движение с постоянной скоростью $v = 2$ м/с, направленной горизонтально вдоль тележки (см. рис.). Какую скорость относительно бруска будет иметь тележка в тот момент, когда угол между наклонной нитью и горизонтом составит $\alpha = 60°$? Считайте, что в указанный момент тележка не доехала до стены, к которой прикреплены блоки.

Задача 2 (10 баллов)

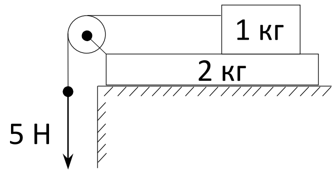
Льдинка с вмороженной в неё пулей висит на нити и частично погружена в воду, находящуюся в тонкостенном цилиндрическом стакане, стоящем на столе. Лёд не касается стенок и дна стакана. Площадь дна стакана $S = 100$ см^2. Сила натяжения нити равна $F = 1$ Н. На сколько изменится уровень воды в стакане после того, как льдинка растает? Повысится он или понизится? Пуля имеет массу $m = 10$ г и плотность $\rho = 10\,000$ кг/м^3. Плотность воды $\rho_0 = 1000$ кг/м^3.

Задача 3 (10 баллов)



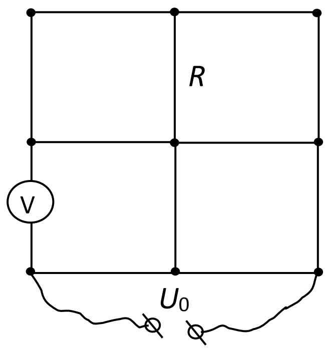
Небольшой шарик массой m, подвешенный на лёгкой нерастяжимой нити к потолку комнаты, отпустили без начальной скорости из состояния, в котором нить была горизонтальна. Найдите работу силы натяжения нити над шариком при его движении от верхнего положения до самого нижнего. Ответ дайте для системы отсчёта, связанной с комнатой, и для системы отсчёта, движущейся относительно комнаты горизонтально в плоскости рисунка с постоянной скоростью V. Длина нити L. Систему отсчёта, связанную с комнатой, можно считать инерциальной.

Задача 4 (10 баллов)



На столе лежит доска массой $m_1 = 2$ кг, а на доске находится брусок массой $m_2 = 1$ кг. К бруску привязана лёгкая нить, второй конец которой перекинут через идеальный блок, закреплённый на краю доски. Коэффициенты трения между доской и столом и между бруском и доской одинаковы и равны $\mu = 0{,}1$. Участок нити между бруском и блоком горизонтален. С какими по модулю ускорениями начнут двигаться брусок и доска, если к вертикальному участку нити приложить направленную вниз силу $F = 5$ Н? Ускорение свободного падения можно считать равным $g = 10$ м/с^2.

Задача 5 (10 баллов)

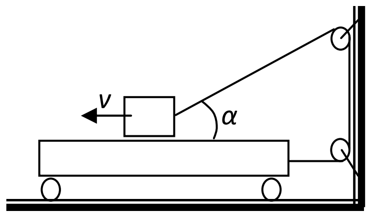


Электрическая цепь представляет собой проволочную сетку, состоящую из звеньев, имеющих одинаковые сопротивления R. Одно звено заменено на вольтметр, сопротивление которого тоже равно R. К сетке подключён источник напряжения $U_0 = 20$ В так, как показано на рисунке. Найдите показание вольтметра.

Всего за работу – 50 баллов.

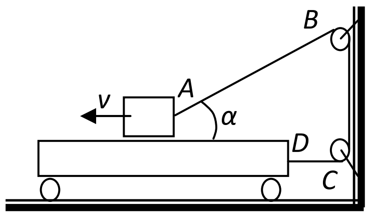
Решения и критерии оценивания

Задача 1



Небольшой брусок через систему блоков связан нерастяжимой нитью с длинной тележкой, которая может катиться по горизонтальной поверхности. Брусок кладут на тележку и приводят в движение с постоянной скоростью $v = 2$ м/с, направленной горизонтально вдоль тележки (см. рис.). Какую скорость относительно бруска будет иметь тележка в тот момент, когда угол между наклонной нитью и горизонтом составит $\alpha = 60°$? Считайте, что в указанный момент тележка не доехала до стены, к которой прикреплены блоки.

Возможное решение



Ввиду нерастяжимости нити проекция скорости точки A верёвки на направление AB равна проекции скорости точки D верёвки на направление DC, т. е. $v\cos\alpha = u$, где u – скорость тележки относительно земли. Скорость тележки относительно бруска равна:

$v_{\text{отн.}} = u + v = v(1 + \cos\alpha) = 3$ м/с.

Критерии оценивания

Применено условие нерастяжимости нити ....**3 балла**
Найдена скорость тележки относительно земли...**2 балла**
Применён закон сложения скоростей ....**3 балла**
Найдена скорость тележки относительно бруска ....**2 балла**

За каждое верно выполненное действие баллы складываются.
При арифметической ошибке (в том числе ошибке при переводе единиц измерения) оценка снижается на 1 балл.
Максимум за задание **– 10 баллов**.

Задача 2

Льдинка с вмороженной в неё пулей висит на нити и частично погружена в воду, находящуюся в тонкостенном цилиндрическом стакане, стоящем на столе. Лёд не касается стенок и дна стакана. Площадь дна стакана $S = 100$ см^2. Сила натяжения нити равна $F = 1$ Н. На сколько изменится уровень воды в стакане после того, как льдинка растает? Повысится он или понизится? Пуля имеет массу $m = 10$ г и плотность $\rho = 10\,000$ кг/м^3. Плотность воды $\rho_0 = 1000$ кг/м^3.

Возможное решение

Рассмотрим внешние силы, действующие на содержимое стакана, в которое включим воду, льдинку и пулю. Сила тяжести компенсируется двумя направленными вверх внешними силами – силой F и силой давления со стороны дна. Последняя, по третьему закону Ньютона, равна по модулю силе давления на дно со стороны жидкости. Из условия равновесия содержимого стакана в исходном состоянии следует:

$$F + S\rho_0 g h_1 = m_{\text{содерж}} g,$$

где h_1 – высота уровня воды в исходном состоянии.

После таяния льдинки масса содержимого сохраняется, но изменяется уровень воды в стакане и, следовательно, давление воды около дна. Кроме этого, перестаёт действовать сила F, но на дно с силой $N = mg - \frac{m}{\rho}\rho_0 g = mg\left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right)$ начинает давить пуля. Новое условие равновесия содержимого стакана имеет вид:

$$S\rho_0 g h_2 + N = m_{\text{содерж}} g,$$

где h_2 – высота уровня воды в конечном состоянии.

Вычитая из первого уравнения второе, получим выражение для изменения уровня воды в стакане:

$$\Delta h = h_2 - h_1 = \frac{F - mg\left(1 - (\rho_0 / \rho)\right)}{\rho_0 g S} = 0{,}91 \text{ см}.$$

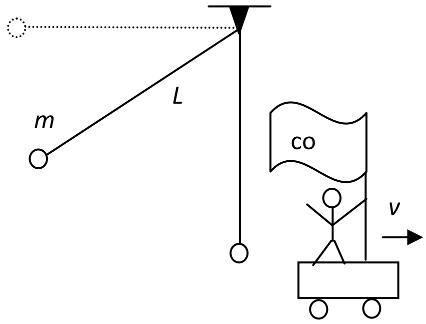
Так как эта величина положительная, то уровень повысится.

Критерии оценивания

Записано условие равновесия содержимого в исходном состоянии ....**2 балла**
Записано условие равновесия содержимого в конечной ситуации ....**2 балла**
Получено выражение для изменения уровня жидкости.............................**2 балла**
(Если задача решалась через объём погружённой льдинки и изменение объёмов при таянии, то за верное выражение для изменения уровня – ***6 баллов****.)*
Получено численное значение для изменения уровня жидкости ....**2 балла**
Явно указано, что уровень повысится...**2 балла**

За каждое верно выполненное действие баллы складываются.
При арифметической ошибке (в том числе ошибке при переводе единиц измерения) оценка снижается на 1 балл.
Максимум за задание **– 10 баллов**.

Задача 3



Небольшой шарик массой m, подвешенный на лёгкой нерастяжимой нити к потолку комнаты, отпустили без начальной скорости из состояния, в котором нить была горизонтальна. Найдите работу силы натяжения нити над шариком при его движении от верхнего положения до самого нижнего. Ответ дайте для системы отсчёта, связанной с комнатой, и для системы отсчёта, движущейся относительно комнаты горизонтально в плоскости рисунка с постоянной скоростью V. Длина нити L. Систему отсчёта, связанную с комнатой, можно считать инерциальной.

Возможное решение

В системе отсчёта, связанной с комнатой, сила натяжения нити в любой момент движения направлена перпендикулярно скорости шарика, следовательно, её работа равна нулю.

Закон сохранения механической энергии для шарика имеет вид $mgL = \frac{mu^2}{2}$, откуда можно найти скорость шарика в нижнем положении: $u = \sqrt{2gL}$. В движущейся системе отсчёта начальная скорость шарика по модулю равна V, а модуль конечной скорости шарика равен $|V - u|$. Тогда из теоремы о кинетической энергии для шарика следует: $\frac{m(|V-u|)^2}{2} - \frac{mV^2}{2} = A_T + mgL$. Отсюда получаем, что работа силы натяжения нити равна: $A_T = -mVu = -mV\sqrt{2gL}$.

Так как в движущейся системе отсчёта в любой момент угол между векторами скорости шарика и силы натяжения тупой, работа этой силы отрицательная.

Критерии оценивания

Обосновано равенство нулю работы силы натяжения нити в системе отсчёта, связанной с комнатой .... **1 балл**

Записан закон сохранения энергии в системе отсчёта, связанной с комнатой .... **2 балла**

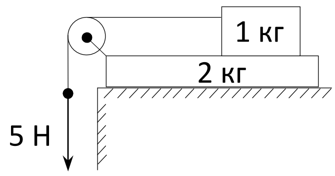
Найдена начальная и конечная скорость шарика в движущейся системе отсчёта .... **2 балла**

Применена теорема о кинетической энергии для шарика в движущейся системе отсчёта .... **3 балла**

Получено выражение для работы силы натяжения нити в движущейся системе отсчёта (с правильным знаком) .... **2 балла**

За каждое верно выполненное действие баллы складываются.
При арифметической ошибке (в том числе ошибке при переводе единиц измерения) оценка снижается на 1 балл. Максимум за задание **– 10 баллов**.

Задача 4



На столе лежит доска массой $m_1 = 2$ кг, а на доске находится брусок массой $m_2 = 1$ кг. К бруску привязана лёгкая нить, второй конец которой перекинут через идеальный блок, закреплённый на краю доски. Коэффициенты трения между доской и столом и между бруском и доской одинаковы и равны $\mu = 0{,}1$. Участок нити между бруском и блоком горизонтален. С какими по модулю ускорениями начнут двигаться брусок и доска, если к вертикальному участку нити приложить направленную вниз силу $F = 5$ Н? Ускорение свободного падения можно считать равным $g = 10$ м/с^2.

Возможное решение

На доску в горизонтальном направлении действуют три силы: направленная вправо сила натяжения нити и направленные влево силы трения со стороны пола и бруска. Горизонтальная составляющая силы натяжения нити, действующая на доску вправо, равна по модулю 5 Н. Она больше суммы модулей максимально возможных сил трения, которые действуют на доску:

$$\mu[(m_1 + m_2)g + F] + \mu m_2 g = 4{,}5 \text{ Н}.$$

Следовательно, доска будет скользить по полу вправо. При этом очевидно, что брусок будет проскальзывать по доске влево. Из второго закона Ньютона, записанного для доски и для бруска, находим модули их ускорений:

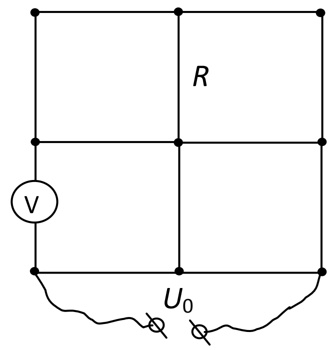
$$a_1 = \frac{F - (\mu[(m_1+m_2)g+F] + \mu m_2 g)}{m_1} = 0{,}25\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2},\ a_2 = \frac{F - \mu m_2 g}{m_2} = 4\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Критерии оценивания

Правильно указаны силы, действующие на тела ....**2 балла**
Указаны максимально возможные модули сил трения для доски и для бруска (по 1 баллу за каждую величину) ....**2 балла**
Объяснено, почему доска скользит по полу вправо ....**1 балл**
Указано, что брусок проскальзывает по доске и движется относительно доски влево...**1 балл**
Найден модуль ускорения бруска...**2 балла**
Найден модуль ускорения доски ....**2 балла**

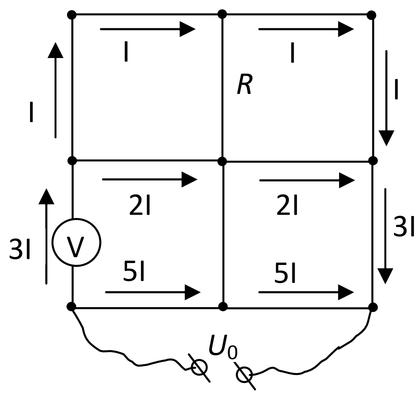
За каждое верно выполненное действие баллы складываются.
При арифметической ошибке (в том числе ошибке при переводе единиц измерения) оценка снижается на 1 балл.
Максимум за задание – **10 баллов**.

Задача 5



Электрическая цепь представляет собой проволочную сетку, состоящую из звеньев, имеющих одинаковые сопротивления R. Одно звено заменено на вольтметр, сопротивление которого тоже равно R. К сетке подключён источник напряжения $U_0 = 20$ В так, как показано на рисунке. Найдите показание вольтметра.

Возможное решение



Изобразим схематически токи, текущие в звеньях сетки, учитывая её симметрию и закон Ома для участка цепи. Согласно этому закону, силы тока в параллельных звеньях, находящихся под одинаковым напряжением, обратно пропорциональны сопротивлениям этих звеньев. При изображении токов также нужно учитывать закон сохранения электрического заряда для узлов сетки – сумма токов, втекающих в узел, должна быть равна сумме токов, вытекающих из узла. Кроме того, заметим, что, в силу симметрии схемы, токи через средние вертикальные проводники не текут.

Если через верхние звенья течёт ток силой I, то через средние горизонтальные проводники течёт ток силой $2I$ (так как ток I течёт через звенья с общим сопротивлением $4R$, а ток $2I$ – через звенья с общим сопротивлением $2R$). Ток силой $3I$ течёт через участок цепи с общим сопротивлением $10R/3$ – этот участок включает в себя все элементы, кроме двух нижних горизонтальных звеньев. Это означает, что через два нижних горизонтальных звена с суммарным сопротивлением $2R$ течёт ток силой $5I$. Напряжение на этих двух нижних звеньях равно $U_0 = 10IR$. Для вольтметра можно записать: $U_V = 3IR$. Отсюда

$$U_V = 3U_0/10 = 6 \text{ В}.$$

Критерии оценивания

Указано на отсутствие протекания токов через средние вертикальные проводники ....**1 балл**
Найдена связь между током, текущим через вольтметр, и токами в других частях цепи ....**3 балла**
Установлена связь между напряжением источника и током, текущим в какой-либо части цепи (например, в нижней ветви) ....**2 балла**

Установлена связь между показанием вольтметра и током, текущим через него..**1 балл**
Получено выражение для связи напряжения источника и показания вольтметра...**2 балла**
Получен численный ответ для показания вольтметра ....**1 балл**

При решении с помощью построения эквивалентной схемы:
Указано на отсутствие протекания токов через средние вертикальные проводники ....**1 балл**
Правильно составлена эквивалентная схема……………………………**2 балла**
Правильно определено полное сопротивление электрической цепи…..…**3 балла**
Правильно определён ток, текущий через источник напряжения…..……..**1 балл**
Определён ток, текущий через в вольтметр…………………….……..…**2 балла**
Получен численный ответ для показания вольтметра ....**1 балл**

За каждое верно выполненное действие баллы складываются.
При арифметической ошибке (в том числе ошибке при переводе единиц измерения) оценка снижается на 1 балл.
Максимум за задание **– 10 баллов**.

Всего за работу – 50 баллов.

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

ПО ФИЗИКЕ 2016–2017 УЧ. Г.

МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП

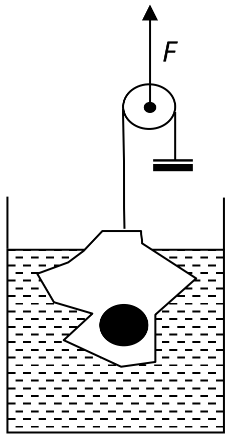
11 КЛАСС

Задача 1 (10 баллов)

Стоя на движущемся вниз эскалаторе, мальчик подбросил монетку, как ему показалось, вертикально вверх, и через $\tau = 1$ с поймал её. Скорость эскалатора $V = 1$ м/с, а угол его наклона к горизонту $\alpha = 30^\circ$. На какое максимальное расстояние от точки бросания удалялась монетка? В течение какого времени монетка поднималась вверх в системе отсчёта, связанной со стенами шахты эскалатора? Ускорение свободного падения можно считать равным $g = 10$ м/с^2.

Задача 2 (10 баллов)

Льдинка с вмороженным в неё металлическим слитком подвешена на лёгкой нити и частично погружена в цилиндрический стакан с водой так, что лёд не касается стенок стакана. Площадь дна стакана $S = 100$ см^2. Для того, чтобы удержать льдинку в таком положении, нить перекидывают через идеальный блок, к оси которого прикладывают вертикально направленную силу $F = 10$ Н. На другой конец нити вешают подходящий противовес. На сколько изменится уровень воды в стакане после того, как льдинка растает? Повысится он или понизится? Масса слитка $m = 100$ г, плотность металла $\rho = 10\,000$ кг/м^3, плотность воды $\rho_0 = 1000$ кг/м^3. Ускорение свободного падения можно считать равным $g = 10$ м/с^2. Противовес после таяния льда не падает в стакан.

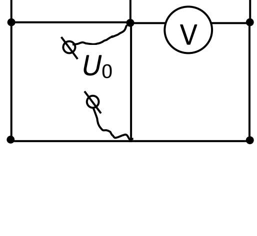


Задача 3 (10 баллов)

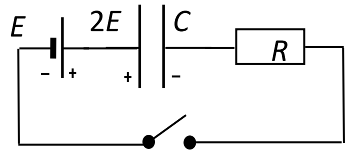
Один моль аргона участвует в процессе, в ходе которого теплоёмкость остаётся постоянной и равной $C = 10\ \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$. При этом аргон увеличил свой объём, совершив работу $A = 40$ Дж. Найдите изменение температуры аргона и подведённое к нему количество теплоты.

Задача 4 (10 баллов)

Электрическая цепь представляет собой проволочную сетку, состоящую из звеньев, имеющих одинаковые сопротивления R. Одно звено заменено на вольтметр, сопротивление которого тоже равно R. К сетке подключён источник напряжения $U_0 = 14$ В так, как показано на рисунке. Найдите показание вольтметра.



Задача 5 (10 баллов)



Электрическая цепь состоит из соединённых последовательно идеального источника напряжения с ЭДС $E = 12$ В, резистора, разомкнутого ключа и заряженного до напряжения $2E$ конденсатора (полярность указана на схеме). Ключ замыкают. Определите напряжение U на конденсаторе в тот момент, когда количество теплоты, выделившееся в резисторе, окажется в 3 раза меньше энергии, оставшейся в конденсаторе.

Всего за работу – 50 баллов.

Решения и система оценивания

Задача 1

Стоя на движущемся вниз эскалаторе, мальчик подбросил монетку, как ему показалось, вертикально вверх, и через $\tau = 1$ с поймал её. Скорость эскалатора $V = 1$ м/с, а угол его наклона к горизонту $\alpha = 30^\circ$. На какое максимальное расстояние от точки бросания удалялась монетка? В течение какого времени монетка поднималась вверх в системе отсчёта, связанной со стенами шахты эскалатора? Ускорение свободного падения можно считать равным $g = 10$ м/с^2.

Возможное решение

Максимальное расстояние, на которое монетка удалялась от точки её бросания, проще всего искать в системе отсчёта, связанной с эскалатором. В этой системе отсчёта начальная скорость монетки направлена вертикально, следовательно,

$$s_{max} = \frac{g(\tau/2)^2}{2} = 1{,}25 \text{ м.}$$

Возможны также решения, в которых ищется максимальное расстояние от монетки до точки бросания (точка пространства) в системе отсчёта, связанной со стенами шахты эскалатора. ТАКОЕ РЕШЕНИЕ ТОЖЕ СЛЕДУЕТ СЧИТАТЬ ПРАВИЛЬНЫМ. В этой системе отсчёта вертикальная составляющая начальной скорости монетки равна

$$v_1 = g\frac{\tau}{2} - V\sin\alpha\,,$$

(за положительное выбрано направление вверх), а горизонтальная составляющая начальной скорости монетки равна

$$v_2 = V\cos\alpha\,.$$

В момент максимального удаления монетки от точки броска, вектор смещения монетки $\vec{r}$ должен быть перпендикулярен вектору скорости монетки $\vec{v}$ (это равносильно тому, что в данный момент расстояние между монеткой и точкой броска не уменьшается и не увеличивается). Пусть $\overrightarrow{v_0}$ — начальная скорость монетки, тогда

$$\vec{v} = \overrightarrow{v_0} + \vec{g}t,$$
$$\vec{r} = \overrightarrow{v_0}t + \frac{\vec{g}t^2}{2}.$$

Момент времени, когда векторы $\vec{r}$ и $\vec{v}$ перпендикулярны, найдём из условия равенства нулю их скалярного произведения:

$$\vec{r}\cdot\vec{v} = v_0^2 t + \frac{3}{2}\overrightarrow{v_0}\cdot\vec{g}t^2 + \frac{1}{2}g^2t^3 = 0.$$

Проекция вектора $\overrightarrow{v_0}$ на ось, направленную вертикально вверх, равна v_1, поэтому

$$\overrightarrow{v_0}\cdot\vec{g} = -v_1 g.$$

По теореме Пифагора $v_0^2 = v_1^2 + v_2^2$. Получаем уравнение на t

$$g^2t^3 - 3v_1gt^2 + 2(v_1^2 + v_2^2)t = 0.$$

Аналогичное уравнение можно получить аналитически. Расстояние между монеткой и точкой броска будет меняться со временем по закону

$$r(t) = \sqrt{\left(v_1t - \frac{gt^2}{2}\right)^2 + (v_2t)^2},$$

$$r^2(t) = \frac{g^2}{4}t^4 - v_1gt^3 + v_1^2t^2 + v_2^2t^2.$$

Расстояние r будет максимально тогда, когда максимален квадрат расстояния r^2. Продифференцировав выражение для r^2 по времени, и приравняв производную к нулю, получим уравнение (такое же, как и из условия перпендикулярности векторов скорости и смещения)

$$g^2t^3 - 3v_1gt^2 + 2(v_1^2 + v_2^2)t = 0,$$

решение $t = 0$ соответствует минимуму функции $r^2(t)$. Поскольку мы ищем максимум, то уравнение можно сократить на t. Получим квадратное уравнение

$$g^2t^2 - 3v_1gt + 2(v_1^2 + v_2^2) = 0,$$

решив которое, найдём что расстояние максимально в момент времени

$$t_m = \frac{3v_1 - \sqrt{9v_1^2 - 8(v_1^2 + v_2^2)}}{2g} \approx 0{,}49 \text{ с}.$$

Второй корень квадратного уравнения рассматривать не нужно, поскольку он больше 1 с (то есть соответствует моменту времени после того, как мальчик поймал монетку). Максимальное расстояние между монеткой и точкой броска

$$r(t_m) \approx 1{,}09 \text{ м}.$$

Из закона сложения скоростей получаем, что в системе отсчёта, связанной со стенами шахты эскалатора, вертикальная составляющая начальной скорости монетки равна: $g(\tau/2) - V\sin\alpha$. Тогда

$$t = \frac{g(\tau/2) - V\sin\alpha}{g} = 0{,}45 \text{ с}.$$

Критерии оценивания

Найдено максимальное расстояние от монетки до точки её бросания (либо в системе отсчёта мальчика, либо в системе отсчёта стен шахты)...............**4 балла**

Применён закон сложения скоростей ....**2 балла**

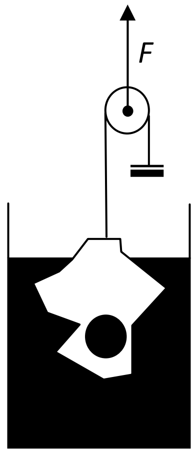
Найдено время t...**4 балла**

За каждое верно выполненное действие баллы складываются.

При арифметической ошибке (в том числе ошибке при переводе единиц измерения) оценка снижается на 1 балл.

Максимум за задание – **10 баллов**.

Задача 2



Льдинка с вмороженным в неё металлическим слитком подвешена на лёгкой нити и частично погружена в цилиндрический стакан с водой так, что лёд не касается стенок стакана. Площадь дна стакана $S = 100$ см^2. Для того, чтобы удержать льдинку в таком положении, нить перекидывают через идеальный блок, к оси которого прикладывают вертикально направленную силу $F = 10$ Н. На другой конец нити вешают подходящий противовес. На сколько изменится уровень воды в стакане после того, как льдинка растает? Повысится он или понизится? Масса слитка $m = 100$ г, плотность металла $\rho = 10\ 000$ кг/м^3, плотность воды $\rho_0 = 1000$ кг/м^3. Ускорение свободного падения можно считать равным $g = 10$ м/с^2. Противовес после таяния льда не падает в стакан.

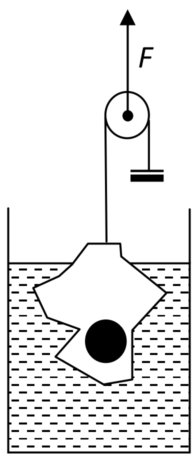
Возможное решение

Рассмотрим внешние силы, действующие на содержимое стакана, в которое включим воду, льдинку и слиток. Сила тяжести компенсируется двумя направленными вверх внешними силами – силой натяжения нити $F/2$ и силой реакции дна стакана. Последняя, в свою очередь, равна по модулю силе давления на дно со стороны жидкости. Из условия равновесия содержимого стакана в исходном состоянии следует:

$$\frac{F}{2} + S\rho_0 g h_1 = m_{\text{содерж}} g ,$$

где h_1 – высота уровня воды в исходном состоянии.

После таяния льдинки масса содержимого сохраняется, но изменяется уровень воды в стакане и, следовательно, давление воды около дна. Кроме этого, на содержимое перестаёт действовать сила $F/2$, но на дно с силой $N = mg - \frac{m}{\rho}\rho_0 g = mg\left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right)$ начинает действовать слиток. Новое условие равновесия содержимого имеет вид:



$$S\rho_0 g h_2 + N = m_{\text{содерж}} g ,$$

где h_1 – высота уровня воды в исходном состоянии.

Вычитая из первого уравнения второе, получим выражение для изменения уровня воды в стакане:

$$\Delta h = h_2 - h_1 = \frac{\frac{F}{2} - mg\left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right)}{\rho_0 g S} = 4{,}1 \text{ см}.$$

Так как эта величина положительная, то уровень воды в стакане повысится.

Критерии оценивания

Записано условие равновесия содержимого в исходном состоянии .... **2 балла**
Записано условие равновесия содержимого в конечной ситуации .... **2 балла**
Получено выражение для изменения уровня жидкости.............................. **2 балла**
(Если задача решалась через объём погружённой льдинки и изменение объёмов при таянии, то за верное выражение для изменения уровня – 6 баллов.)
Получено численное значение для изменения уровня жидкости .... **2 балла**
Явно указано, что уровень повысится... **2 балла**

За каждое верно выполненное действие баллы складываются.
При арифметической ошибке (в том числе ошибке при переводе единиц измерения) оценка снижается на 1 балл. Максимум за задание **– 10 баллов**.

Задача 3

Один моль аргона участвует в процессе, в ходе которого теплоёмкость остаётся постоянной и равной $C = 10\ \frac{Дж}{К}$. При этом аргон увеличил свой объём, совершив работу $A = 40$ Дж. Найдите изменение температуры аргона и подведённое к нему количество теплоты.

Возможное решение

Запишем для данного процесса первое начало термодинамики:

$$\Delta Q = C\Delta T = \frac{3}{2}\nu R\Delta T + A \ \ \Rightarrow \ \ \Delta T = \frac{A}{C - 1{,}5\nu R} = -16{,}2\ \text{К},$$

т. е. газ охлаждался. Подведённое к газу количество теплоты равно:

$$Q = C\Delta T = -162\ \text{Дж},$$

т. е. газ в данном процессе отдавал теплоту.

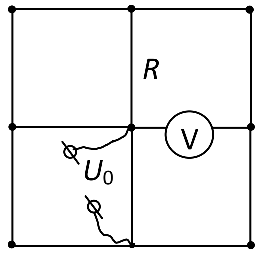
Критерии оценивания

Записано первое начало термодинамики.. **4 балла**
Найдено изменение температуры газа .... **2 балла**
Найдено количество теплоты... **2 балла**
Указано, что газ тепло отдавал (получен ответ со знаком минус).............. **2 балла**

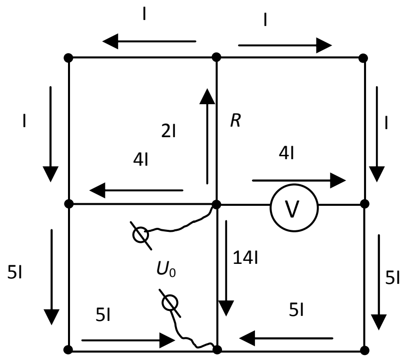
За каждое верно выполненное действие баллы складываются.
При арифметической ошибке (в том числе ошибке при переводе единиц измерения) оценка снижается на 1 балл.
Максимум за задание **– 10 баллов**.

Задача 4

Электрическая цепь представляет собой проволочную сетку, состоящую из звеньев, имеющих одинаковые сопротивления R. Одно звено заменено на вольтметр, сопротивление которого тоже равно R. К сетке подключён источник напряжения $U_0 = 14$ В так, как показано на рисунке. Найдите показание вольтметра.



Возможное решение



Изобразим схематически токи, текущие в звеньях сетки, учитывая её симметрию и закон Ома для участка цепи. Согласно этому закону, силы тока в параллельных звеньях, находящихся под одинаковым напряжением, обратно пропорциональны сопротивлениям этих звеньев. При изображении токов также нужно учитывать закон сохранения электрического заряда для узлов сетки – сумма токов, втекающих в узел, должна быть равна сумме токов, вытекающих из узла.

Точки подключения источника напряжения расположены на вертикальной оси симметрии сетки. Поэтому токи, текущие налево и направо от оси симметрии сетки, вытекающие из данного узла или втекающие в данный узел, должны быть одинаковыми. Обозначим токи, текущие налево и направо от верхнего среднего узла сетки, через I. Тогда ток, втекающий в верхний средний узел, равен $2I$. При обходе левой (и правой) верхней четверти сетки суммарное падение напряжения должно быть равно нулю. Следовательно, токи, текущие налево и направо от центрального узла сетки, одинаковы и равны $4I$. Значит, токи, текущие вниз от левого среднего и от правого среднего узла сетки, равны $5I$.

Выразим напряжение источника U_0 через ток I. Для того чтобы сделать это, мысленно сложим схему пополам вдоль вертикальной оси симметрии. Тогда сопротивления всех звеньев, не лежащих на оси симметрии, уменьшатся в 2 раза, а текущие по ним токи увеличатся в 2 раза. Суммарное сопротивление всех звеньев, подключённых к источнику (за исключением звена, находящегося непосредственно между клеммами источника), равно $7R/5$. Текущий через эти звенья ток равен $10I$. Поэтому падение напряжения во внешней цепи между клеммами источника равно $U_0 = 14IR$. Отметим, что это заодно позволяет найти ток, текущий через звено между точками подключения источника напряжения. Он равен $14I$ и течёт от центрального узла сетки к нижнему среднему узлу.

Для вольтметра можно записать: $U_V = 4IR$. Отсюда $U_V = 4U_0/14 = 2U_0/7 = 4$ В.

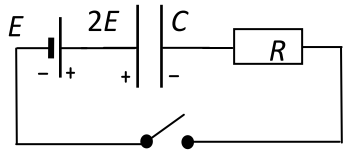
Критерии оценивания

Установлено распределение токов в звеньях сетки....................................**3 балла**
Найдена связь между током, текущим через вольтметр, и токами в других частях цепи...**1 балл**
Установлена связь между напряжением источника и током, текущим в какой-либо части цепи ....**2 балла**
Установлена связь между показанием вольтметра и током, текущим через него..**1 балл**
Получено выражение для связи напряжения источника и показания вольтметра...**2 балла**

Получен численный ответ для показания вольтметра ....**1 балл**

За каждое верно выполненное действие баллы складываются.
При арифметической ошибке (в том числе ошибке при переводе единиц измерения) оценка снижается на 1 балл.
Максимум за задание – **10 баллов**.

Задача 5



Электрическая цепь состоит из соединённых последовательно идеального источника напряжения с ЭДС $E = 12$ В, резистора, разомкнутого ключа и заряженного до напряжения $2E$ конденсатора (полярность указана на схеме). Ключ замыкают. Определите напряжение U на конденсаторе в тот момент, когда количество теплоты, выделившееся в резисторе, окажется в 3 раза меньше энергии, оставшейся в конденсаторе.

Возможное решение

Полярность зарядки конденсатора всегда останется такой же, какой она была вначале. Поскольку исходное напряжение на конденсаторе превышает ЭДС источника, то после замыкания ключа ток в цепи потечёт против часовой стрелки. К интересующему нас моменту времени заряд, протекший через источник (и подзарядивший его), равен $q = C(2E - U)$. Запишем закон сохранения энергии с учётом выделившегося количества теплоты и работы, совершённой источником: $\frac{C(2E)^2}{2} = qE + Q + \frac{CU^2}{2}$. Отсюда, с учётом того, что $Q = \frac{1}{3}\cdot\frac{CU^2}{2}$, получим: $U = \frac{3E}{2} = 18$ В.

Критерии оценивания

Определена начальная энергия конденсатора...**1 балл**
Найден протёкший через источник заряд...**1 балл**
Найдена работа, совершённая источником ....**1 балл**
Записан закон сохранения энергии ....**4 балла**
Получено выражение для напряжения на конденсаторе ....**2 балла**
Получено численное значение напряжения на конденсаторе ....**1 балл**

За каждое верно выполненное действие баллы складываются.
При арифметической ошибке (в том числе ошибке при переводе единиц измерения) оценка снижается на 1 балл. Максимум за задание – **10 баллов**.

Всего за работу – 50 баллов.