

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/с².

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,

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

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 **4 балла**

Применён закон сложения скоростей **2 балла**

Найдено время t **4 балла**

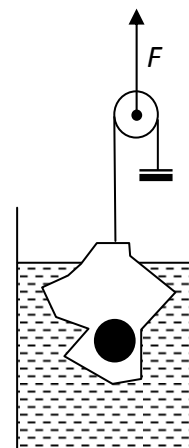
За каждое верно выполненное действие баллы складываются.

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 замороженным 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 $S = 100$ см². 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



$\rho = 10\,000 \text{ кг/м}^3$, плотность воды $\rho_0 = 1000 \text{ кг/м}^3$. Ускорение свободного падения можно считать равным $g = 10 \text{ м/с}^2$. 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_2 – 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 $C = 10 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$. При этом аргон увеличил свой объём, совершив работу $A = 40 \text{ Дж}$. 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

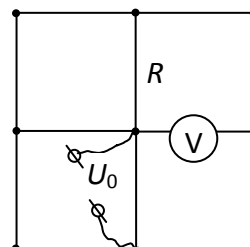
За каждое верно выполненное действие баллы складываются.

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

Максимум за задание – 10 баллов.

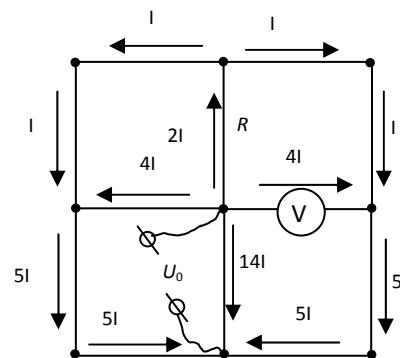
Задача 4

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 $U_0 = 14 \text{ В}$ 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**

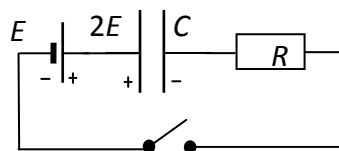
За каждое верно выполненное действие баллы складываются.

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.
