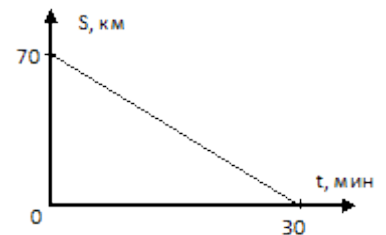


ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
 ПО ФИЗИКЕ. 2017–2018 уч. г.
 МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. 9 КЛАСС

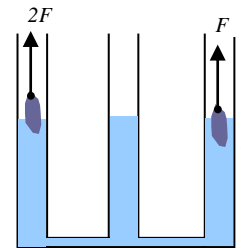


1. Электричка без начальной скорости с постоянным ускорением начинает заезжать в тоннель, имеющий длину L . Машинист в головном вагоне заметил, что он проехал тоннель за время $t = 38$ с. Сколько времени находился в тоннеле кондуктор, сидящий в конце последнего вагона, если длина электрички $4L$, а ускорение не меняется до выезда кондуктора из тоннеля?

2. Деревня находится на расстоянии $L = 70$ км от города. Населенные пункты соединяет прямолинейный участок шоссе. Одновременно из города и деревни навстречу начинают движение легковой автомобиль и автобус. Скорость автомобиля равна $v = 90$ км/ч. На рисунке представлен график, на котором показано, как изменялось расстояние между ними с момента выезда до момента встречи. Найдите скорость автобуса. Какое время потребовалось автобусу на путь от места встречи до города? Считать, что автобус и автомобиль движутся с постоянными скоростями во время всего движения.

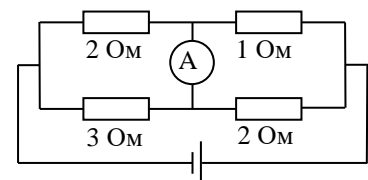


3. Три одинаковых цилиндрических сосуда, частично заполненных водой, соединены снизу трубками. Площадь поперечного сечения каждого сосуда $S = 10$ см². В правый и левый сосуды помещены льдинки, которые удерживают в равновесии за нити, прикладывая к ним вертикально направленные силы $F = 1$ Н и $2F$. Льдинки начинают таять. В течение всего процесса таяния их продолжают удерживать в равновесии. На сколько изменится уровень воды в среднем сосуде после того, как обе льдинки растают? Повысится он или понизится? Плотность воды $\rho = 1000$ кг/м³. Ускорение свободного падения принять равным $g = 10$ м/с².



4. Вася принёс домой с улицы снежок массой 200 г, слепленный из «мокрого» снега. «Мокрым» называют снег, содержащий воду. Температура снежка 0 °С. Вася поместил снежок в ведёрко, в котором было 2 л воды при температуре 25 °С. При этом температура общей массы получившейся воды стала равной 18 °С. Определить процентное содержание по массе влаги (воды), которое было в снеге. Удельная теплоемкость воды $c_v = 4,2$ кДж/(кг·°С), удельная теплота плавления льда $\lambda = 330$ кДж/кг. Потерями теплоты пренебречь.

5. Найдите показания идеального амперметра в схеме на рисунке, если напряжение на батарее $U = 4$ В. Значения сопротивлений резисторов указаны на рисунке в Омах.



ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ПО ФИЗИКЕ. 2017–2018 уч. г.
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. 9 КЛАСС



1. Электричка без начальной скорости с постоянным ускорением начинает заезжать в тоннель, имеющий длину L . Машинист в головном вагоне заметил, что он проехал тоннель за время $t = 38$ с. Сколько времени находился в тоннеле кондуктор, сидящий в конце последнего вагона, если длина электрички $4L$, а ускорение не меняется до выезда кондуктора из тоннеля?

Возможное решение

Для перемещения машиниста в тоннеле можно записать: $L = \frac{at^2}{2}$. К моменту въезда кондуктора в тоннель: $4L = \frac{at_1^2}{2}$, а к выезду $5L = \frac{at_2^2}{2}$. Откуда $t_2 - t_1 = (\sqrt{5} - 2)t \approx 9$ с.

Критерии оценивания

1. Выражение для перемещения машиниста 2 балла
2. Выражение для перемещения к моменту въезда кондуктора 2 балла
3. Выражение для перемещения к моменту выезда кондуктора 2 балла
4. Идея нахождения времени пребывания кондуктора в тоннеле как разности времен 1 балл
5. Выражение для времени пребывания кондуктора в тоннеле 2 балла
6. Численное значение времени пребывания кондуктора в тоннеле 1 балл

2. Деревня находится на расстоянии $L = 70$ км от города. Населенные пункты соединяет прямолинейный участок шоссе. Одновременно из города и деревни навстречу начинают движение легковой автомобиль и автобус. Скорость автомобиля равна $v = 90$ км/ч. На рисунке представлен график, на котором показано, как изменялось расстояние между ними с момента выезда до момента встречи. Найдите скорость автобуса. Какое время потребовалось автобусу на путь от места встречи до города? Считать, что автобус и автомобиль движутся с постоянными скоростями во время всего движения.



Возможное решение

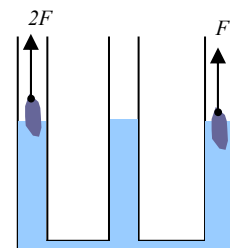
Из графика следует, что скорость сближения автомобиля и автобуса 140 км/ч. Следовательно, скорость автобуса равна 140 км/ч $- 90$ км/ч $= 50$ км/ч. Расстояние от места встречи до города равно произведению скорости автомобиля на время движения до встречи, или 45 км. Тогда, оставшееся время движения автобуса до

города равно отношению расстояния к скорости автобуса: $45 \text{ км}/50 \text{ км/ч} = 0,9 \text{ ч} = 54 \text{ мин}$.

Критерии оценивания

- | | |
|--|---------|
| 1. Из графика найдена скорость сближения | 2 балла |
| 2. Определена скорость автобуса | 3 балла |
| 3. Найдено расстояние от места встречи до города | 3 балла |
| 4. Найдено оставшееся время движения автобуса | 2 балла |

3. Три одинаковых цилиндрических сосуда, частично заполненных водой, соединены снизу трубками. Площадь поперечного сечения каждого сосуда $S = 10 \text{ см}^2$. В правый и левый сосуды помещены льдинки, которые удерживают в равновесии за нити, прикладывая к ним вертикально направленные силы $F = 1 \text{ Н}$ и $2F$. Льдинки начинают таять. В течение всего процесса таяния их продолжают удерживать в равновесии. На сколько изменится уровень воды в среднем сосуде после того, как обе льдинки растают? Повысится он или понизится? Плотность воды $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$. Ускорение свободного падения принять равным $g = 10 \text{ м/с}^2$.



Возможное решение

Рассмотрим внешние силы, действующие на содержимое сосудов, в которое включим воду и льдинки. Сила тяжести компенсируется тремя внешними силами F , $2F$ и силой реакции со стороны дна. Последняя, в свою очередь, равна по модулю силе давления на дно со стороны жидкости. Из условия равновесия в начальной ситуации следует: $F + 2F + 3S\rho gh_1 = m_{\text{содерж}}g$. После таяния льдинок масса содержимого сохраняется, но изменяется уровень и, следовательно, давление воды около дна. Кроме того, перестают действовать силы F и $2F$. Новое условие равновесия примет вид: $3S\rho gh_2 = m_{\text{содерж}}g$. Вычитая из первого уравнения второе, получим: $\Delta h = h_2 - h_1 = \frac{F}{\rho g S} = 10 \text{ см}$. Так как эта величина положительная, то уровень повысится.

Критерии оценивания

- | | |
|---|---------|
| 1. Записано условие равновесия содержимого в начальной ситуации | 2 балла |
| 2. Записано условие равновесия содержимого в конечной ситуации | 2 балла |
| 3. Получено выражение для изменения уровня жидкости | 2 балла |

(Если задача решалась через объемы погруженных льдинок и изменение объемов при таянии льда, то за верное выражение для изменения уровня 6 баллов)

- | | |
|--|---------|
| 4. Численное значение для изменения уровня | 2 балла |
| 5. Явное указание на повышение уровня | 2 балла |

4. Вася принёс домой с улицы снежок массой 200 г, слеппенный из «мокрого» снега. «Мокрым» называют снег, содержащий воду. Температура снежка 0 °С. Вася поместил снежок в ведёрко, в котором было 2 л воды при температуре 25 °С. При этом температура общей массы получившейся воды стала равной 18 °С. Определить процентное содержание по массе влаги (воды), которое было в снеге. Удельная теплоемкость воды $c_{\text{в}} = 4,2$ кДж/(кг·°С), удельная теплота плавления льда $\lambda = 330$ кДж/кг. Потерями теплоты пренебречь.

Возможное решение

Пусть x – массовая доля воды в мокром снеге. Запишем уравнение теплового баланса:

$$(1 - x)m\lambda + c_{\text{в}}mt_1 = c_{\text{в}}M(t_2 - t_1),$$

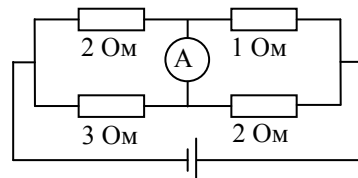
где m – масса «мокрого» снега, $t_1 = 18$ °С, $t_2 = 25$ °С, $M = 2$ кг. Отсюда получаем:

$$x = 1 - \frac{c_{\text{в}}M(t_2 - t_1) - c_{\text{в}}mt_1}{m\lambda} = 1 - \frac{4,2 \cdot 10^3 \cdot (2 \cdot 7 - 0,2 \cdot 18)}{0,2 \cdot 3,3 \cdot 10^5} \cong 34\%.$$

Критерии оценивания

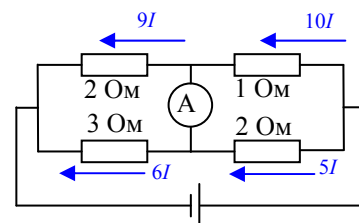
1. Составлено верное уравнение теплового баланса (в любом виде) 5 баллов
2. Получено выражение для процентного содержания воды 3 балла
3. Найдено численное значение процентного содержания воды 2 балла

5. Найдите показания идеального амперметра в схеме на рисунке, если напряжение на батарейке $U = 4$ В. Значения сопротивлений резисторов указаны на рисунке в Омах.



Возможное решение

Сопротивление идеального амперметра равно нулю, поэтому можно считать, что резисторы 2 Ом и 3 Ом, а также 1 Ом и 2 Ом включены попарно параллельно. Общее сопротивление цепи $6/5$ Ом + $2/3$ Ом = $28/15$ Ом. Сила тока, текущего через источник, $60/28 = 15/7$ А. В верхней ветви цепи текут токи $10/7$ А и $9/7$ А, в нижней ветви – $5/7$ А и $6/7$ А. Поэтому сила тока, текущего через амперметр, равна $1/7$ А $\approx 0,143$ А.



Распределение токов в цепи показано на схеме (для удобства введено обозначение $I = 1/7$ А).

Критерии оценивания

1. Эквивалентная замена амперметра перемычкой 1 балл

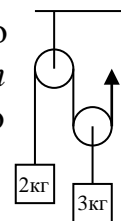
2. Расчет общего сопротивления схемы попарно параллельных резисторов
2 балла
3. Нахождение общего тока 1 балл
4. Нахождение токов через отдельные резисторы 4 балла
5. Нахождение тока через амперметр 2 балла

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ПО ФИЗИКЕ. 2017–2018 уч. г.
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. 10 КЛАСС



1. Два шарика брошены одновременно навстречу друг другу с одинаковыми начальными скоростями: один с поверхности земли вертикально вверх, другой с высоты H вертикально вниз. Найдите эти скорости, если известно, что шарики встретились на высоте $H/4$.

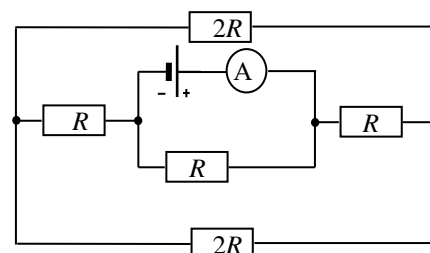
2. Найдите модуль и направление ускорения, с которым нужно двигать конец нити для того, чтобы правый груз, имеющий массу $m = 3$ кг, оставался неподвижным? Массой нити и блоков можно пренебречь. Нить нерастяжима, трение отсутствует. Ускорение свободного падения принять равным $g = 10$ м/с².



3. Вдоль длинной доски, покоящейся на гладком горизонтальном столе, толкают с некоторой начальной скоростью брусок, масса которого вдвое больше массы доски. Пройдя по доске расстояние $L = 40$ см, брусок перестает по ней скользить. Какое расстояние пройдет по этой доске брусок, имеющий массу, равную массе доски, сделанный из прежнего материала и запущенный с той же начальной скоростью? Считайте, что сразу после запуска бруска доска в обоих случаях покоится относительно стола.

4. В герметичный калориметр положили $m = 2$ кг льда, имеющего температуру $t_1 = -50$ °С, и добавили водяной пар при температуре $t_2 = 100$ °С. Сколько могло быть добавлено пара, если после установления теплового равновесия температура содержимого калориметра оказалась равной $t = 0$ °С? Удельные теплоемкости воды и льда $c_в = 4,2$ кДж/(кг·°С) и $c_л = 2,1$ кДж/(кг·°С), удельная теплота плавления льда $\lambda = 330$ кДж/кг, удельная теплота парообразования воды $L = 2300$ кДж/кг. Теплоемкостью калориметра и потерями теплоты пренебречь.

5. Электрическая цепь, схема которой приведена на рисунке, состоит из резисторов, имеющих сопротивления $R = 2$ кОм и $2R$, идеального источника с напряжением $U = 3$ В и идеального амперметра. Определите показание амперметра.



ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ПО ФИЗИКЕ. 2017–2018 уч. г.
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. 10 КЛАСС



1. Два шарика брошены одновременно навстречу друг другу с одинаковыми начальными скоростями: один с поверхности земли вертикально вверх, другой с высоты H вертикально вниз. Найдите эти скорости, если известно, что шарика встретились на высоте $H/4$.

Возможное решение

Направим ось x вверх и выберем начало координат на поверхности земли. Тогда законы движения для тел запишутся в виде:

$$x_1(t) = vt - \frac{gt^2}{2},$$

$$x_2(t) = H - vt - \frac{gt^2}{2},$$

где v – начальные скорости шариков. В момент встречи: $x_1 = x_2 = \frac{H}{4}$, $t_1 = t_2 = \tau$ (так как шарика брошены одновременно). Отсюда получаем:

$$\tau = \sqrt{\frac{H}{2g}}.$$

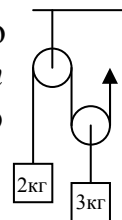
Подставим в закон движения время τ и выразим начальную скорость шариков:

$$\frac{H}{4} = v \cdot \sqrt{\frac{H}{2g}} - \frac{H}{4} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{gH}{2}}.$$

Критерии оценивания

- | | |
|--|---------|
| 1. Записан закон движения для первого шарика | 2 балла |
| 2. Записан закон движения для второго шарика | 2 балла |
| 3. Условие встречи шариков ($x_1 = x_2$) | 1 балл |
| 4. Указано, что $t_1 = t_2$ | 1 балл |
| 5. Выражение для времени движения шариков | 2 балла |
| 6. Выражение для начальной скорости шариков | 2 балла |

2. Найдите модуль и направление ускорения, с которым нужно двигать конец нити для того, чтобы правый груз, имеющий массу $m = 3$ кг, оставался неподвижным? Массой нити и блоков можно пренебречь. Нить нерастяжима, трение отсутствует. Ускорение свободного падения принять равным $g = 10$ м/с².



Возможное решение

Из условия равновесия груза, имеющего массу m , следует, что $2T = mg$. Тогда уравнение второго закона Ньютона в проекции на вертикальную ось Oy , направленную вверх, для второго тела, имеющего массу $\frac{2}{3}m$, имеет вид:

$\frac{2}{3}ma_y = T - \frac{2}{3}mg$, откуда $a_y = \frac{3T}{2m} - g = -\frac{1}{4}g$. Знак минус означает, что груз $\frac{2}{3}m$ будет ускоряться вниз. Из условия нерастяжимости нити следует, что конец нити необходимо опускать с таким же ускорением $b = \frac{1}{4}g \approx 2,5$ м/с², направленным вниз.

Критерии оценивания

- | | |
|---|---------|
| 1. Записано условие равновесия груза m | 1 балл |
| 2. Учет постоянства силы натяжения нити вдоль всей нити | 1 балл |
| 3. Уравнение второго закона Ньютона для тела $\frac{2}{3}m$ | 3 балла |
| 4. Найдено ускорение тела $\frac{2}{3}m$ | 1 балл |
| 5. Использована кинематическая связь для ускорений тела $\frac{2}{3}m$ и конца нити | 2 балла |
| 6. Найдено ускорение конца нити | 2 балла |

3. Вдоль длинной доски, покоящейся на гладком горизонтальном столе, толкают с некоторой начальной скоростью брусок, масса которого вдвое больше массы доски. Пройдя по доске расстояние $L = 40$ см, брусок перестает по ней скользить. Какое расстояние пройдет по этой доске брусок, имеющий массу, равную массе доски, сделанный из прежнего материала и запущенный с той же начальной скоростью? Считайте, что сразу после запуска бруска доска в обоих случаях покоится относительно стола.

Возможное решение

Запишем закон сохранения импульса и закон сохранения энергии для первого случая:

$$\begin{cases} 2mv = (m + 2m)u \\ \frac{2mv^2}{2} - 2\mu mgL = \frac{(m+2m)u^2}{2} \end{cases} \Rightarrow 2\mu mgL = \frac{m}{3}v^2,$$

где v – начальная скорость бруска, u – скорость бруска и доски, когда проскальзывание прекратится, μ – коэффициент трения между бруском и доской, m – масса доски.

Для второго случая:

$$\begin{cases} mv = (m + m)V \\ \frac{mv^2}{2} - \mu mgs = \frac{(m+m)V^2}{2} \end{cases} \Rightarrow \mu mgs = \frac{m}{4}v^2,$$

где V – скорость бруска и доски, когда проскальзывание прекратится во втором случае, s – расстояние, которое брусок, имеющий массу, равную массе доски, пройдет по доске.

Окончательно получаем:

$$\frac{2L}{s} = \frac{4}{3} \Rightarrow s = \frac{3}{2}L = 60 \text{ см.}$$

Критерии оценивания

- | | |
|---|---------|
| 1. Записан закон сохранения импульса для первого случая | 2 балла |
| 2. Записан закон сохранения энергии для первого случая | 2 балла |
| 3. Записан закон сохранения импульса для второго случая | 2 балла |
| 4. Записан закон сохранения энергии для второго случая | 2 балла |
| 5. Найдено расстояние s | 2 балла |

Примечание. Возможно динамическое рассмотрение задачи.

4. В герметичный калориметр положили $m = 2$ кг льда, имеющего температуру $t_1 = -50$ °С, и добавили водяной пар при температуре $t_2 = 100$ °С. Сколько могло быть добавлено пара, если после установления теплового равновесия температура содержимого калориметра оказалась равной $t = 0$ °С? Удельные теплоемкости воды и льда $c_{\text{в}} = 4,2$ кДж/(кг·°С) и $c_{\text{л}} = 2,1$ кДж/(кг·°С), удельная теплота плавления льда $\lambda = 330$ кДж/кг, удельная теплота парообразования воды $L = 2300$ кДж/кг. Теплоемкостью калориметра и потерями теплоты пренебречь.

Возможное решение

В конечном состоянии при температуре 0 °С содержимое калориметра может находиться как в виде льда, так и в виде воды. Рассмотрим оба крайних случая. Пусть в конечном состоянии в калориметре есть только лёд при 0 °С. Тогда уравнение теплового баланса имеет вид: $mc_{\text{л}}(t - t_1) = m_1c(t_2 - t) + m_1\lambda + m_1L$, где m_1 – минимальная масса добавленного пара.

Выражая m_1 , получим: $m_1 = \frac{mc_{\text{л}}(t - t_1)}{c(t_2 - t) + \lambda + L} = 0,069$ кг.

Если в конечном состоянии в калориметре находится только вода при 0 °С, то уравнение теплового баланса запишется так: $mc_{\text{л}}(t - t_1) + m\lambda = m_2c(t_2 - t) + m_2L$, где m_2 – максимальная масса добавленного пара. Выражая m_2 , получим:

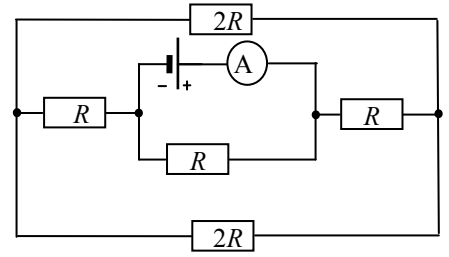
$m_2 = \frac{m(c_{\text{л}}(t - t_1) + \lambda)}{c(t_2 - t) + L} = 0,320$ кг.

Окончательный ответ: в калориметр могло быть добавлено $(69 \text{ г}) < m < (320 \text{ г})$ пара.

Критерии оценивания

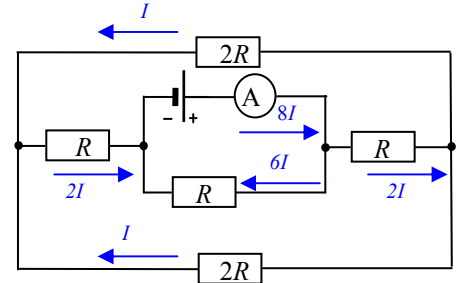
- | | |
|--|---------|
| 1. Проанализированы возможные конечные состояния содержимого | 1 балл |
| 2. Уравнение теплового баланса для максимального количества пара | 3 балла |
| 3. Численное значение массы максимального количества пара | 1 балл |
| 4. Уравнение теплового баланса для минимального количества пара | 3 балла |
| 5. Численное значение массы минимального количества пара | 1 балл |
| 6. Явно записанный диапазон возможных значений масс пара | 1 балл |

5. Электрическая цепь, схема которой приведена на рисунке, состоит из резисторов, имеющих сопротивления $R = 2$ кОм и $2R$, идеального источника с напряжением $U = 3$ В и идеального амперметра. Определите показание амперметра.



Возможное решение

Напряжение на верхнем и нижнем резисторах $2R$ одинаковое, следовательно, через них текут одинаковые токи. Обозначим их через I . Тогда, по закону сохранения заряда, через левый и правый резисторы R текут токи $2I$. Теперь можно посчитать напряжение на среднем резисторе R .



Оно равно $6IR$ и, следовательно, через данный резистор идет ток $6I$. Тогда по ветви, содержащей источник и амперметр, идет ток $8I$, причем $U = 6IR$, и окончательно, $I_A = \frac{4U}{3R} = 2$ мА.

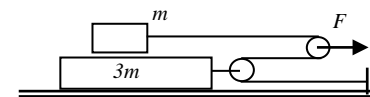
Критерии оценивания

1. Расставлены токи в ветвях, либо найдено общее сопротивление внешней цепи 5 баллов
2. Найдена связь напряжения источника и тока через амперметр 4 балла
3. Получено численное значение тока через амперметр 1 балл

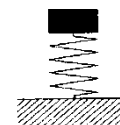
ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
 ПО ФИЗИКЕ. 2017–2018 уч. г.
 МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. 11 КЛАСС



1. Систему грузов, имеющих массы m и $3m$, тянут с помощью подвижного блока по гладкой горизонтальной поверхности. При каких значениях силы F грузы не будут проскальзывать друг по другу, если коэффициент трения между ними μ ? Массами блоков и нити можно пренебречь. Нить нерастяжима.



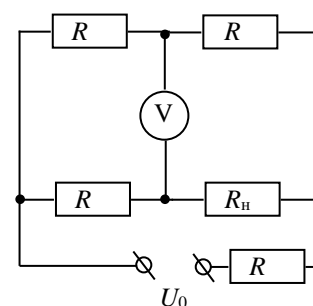
2. На легкой вертикально установленной пружине уравновешена гиря. Деформация пружины при этом составляет $x = 6$ см. Чтобы увеличить деформацию пружины вдвое, медленно надавливая на груз в вертикальном направлении, надо совершить работу $A = 1$ Дж. Найдите жесткость пружины.



3. В некотором процессе над газом совершена работа $A' = 100$ Дж, при этом его внутренняя энергия возросла на $\Delta U = 80$ Дж, а температура увеличилась на $\Delta t = 10$ °С. Найдите среднюю теплоёмкость газа в этом процессе.

4. Два точечных заряда $+q$ и $-q$, закреплённые на концах непроводящего стержня (диполь), находятся в электростатическом поле. Для того, чтобы повернуть этот диполь на 180° вокруг центра стержня, внешним силам нужно совершить работу A . Какую работу нужно совершить внешним силам (после поворота) для того, чтобы унести диполь из этого поля на бесконечность? Потенциал бесконечно удаленных точек равен нулю.

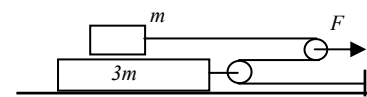
5. В электрической цепи, схема которой показана на рисунке, сопротивления резисторов R и напряжение U_0 на клеммах источника известны, вольтметр идеальный. При каком сопротивлении нагрузки R_n в ней будет выделяться максимальная мощность, и какое напряжение U в этом случае будет показывать вольтметр?



ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ПО ФИЗИКЕ. 2017–2018 уч. г.
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. 11 КЛАСС



1. Систему грузов, имеющих массы m и $3m$, тянут с помощью подвижного блока по гладкой горизонтальной поверхности. При каких значениях силы F грузы не будут проскальзывать друг по другу, если коэффициент трения между ними μ ? Массами блоков и нити можно пренебречь. Нить нерастяжима.



Возможное решение

Если бы трение отсутствовало, то тогда ускорение груза m было бы больше ускорения груза $3m$, значит, сила трения, действующая на груз m , направлена влево. В момент начала проскальзывания возникает пограничная ситуация: в системе действует максимально возможная сила трения, но ускорения грузов одинаковы. Ввиду невесомости нити и блоков сила натяжения нити равна $\frac{F}{2}$. Запишем второй закон Ньютона для груза m и груза $3m$ соответственно:

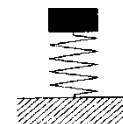
$$\begin{cases} \frac{F}{2} - \mu mg = ma, \\ F + \mu mg = 3ma, \end{cases} \Rightarrow F = 8\mu mg.$$

Значит, проскальзывание отсутствует при $F \leq 8\mu mg$.

Критерии оценивания

- | | |
|--|---------|
| 1. Определено направление силы трения | 2 балла |
| 2. Указано условие начала проскальзывания грузов | 2 балла |
| 3. Определена сила натяжения нити | 1 балл |
| 4. Записан 2-й закон Ньютона для первого груза | 2 балла |
| 5. Записан 2-й закон Ньютона для второго груза | 2 балла |
| 6. Найдены значения силы F , при которых проскальзывание отсутствует | 1 балл |

2. На легкой вертикально установленной пружине уравновешена гиря. Деформация пружины при этом составляет $x = 6$ см. Чтобы увеличить деформацию пружины вдвое, медленно надавливая на груз в вертикальном направлении, надо совершить работу $A = 1$ Дж. Найдите жесткость пружины.



Возможное решение

Условие равновесия гири в начальный момент: $mg = kx$, где m – масса гири, k – жёсткость пружины. Запишем закон сохранения энергии, приняв «нулевой» уровень потенциальной энергии силы тяжести в начальном положении гири:

$$\frac{kx^2}{2} + A = -mgx + \frac{k(2x)^2}{2} \Rightarrow A = \frac{3}{2}kx^2 - kx^2 \Rightarrow k = \frac{2A}{x^2} \cong 556 \text{ Н/м.}$$

Критерии оценивания

- | | |
|---|---------|
| 1. Условие равновесия гири в начальный момент | 2 балла |
| 2. Выражение потенциальной энергии силы упругости | 1 балл |
| 3. Выражение потенциальной энергии силы тяжести | 1 балл |
| 4. Записан закон сохранения энергии | 3 балла |
| 5. Найдено выражение для коэффициента жёсткости пружины | 2 балла |
| 6. Получено численное значение коэффициента жёсткости пружины | 1 балл |

3. В некотором процессе над газом совершена работа $A' = 100$ Дж, при этом его внутренняя энергия возросла на $\Delta U = 80$ Дж, а температура увеличилась на $\Delta t = 10$ °С. Найдите среднюю теплоёмкость газа в этом процессе.

Возможное решение

Из первого начала термодинамики следует: $\Delta Q = \Delta U - A'$. С другой стороны: $\Delta Q = C\Delta T$, где C – средняя теплоемкость, а $\Delta T = \Delta t$. Отсюда получаем:

$$C = \frac{\Delta U - A'}{\Delta T} = -2 \text{ Дж/К.}$$

Критерии оценивания

- | | |
|---|----------|
| 1. Записано первое начало термодинамики | 3 балла |
| 2. Записано выражение $Q = C\Delta T$ | 2 балла |
| 3. Правильно найдена средняя теплоёмкость | 5 баллов |

В случае, если правильно найден модуль средней теплоемкости (то есть не учтен знак) – снимается 3 балла (максимальная оценка за задачу в этом случае составляет 7 баллов).

4. Два точечных заряда $+q$ и $-q$, закреплённые на концах непроводящего стержня (диполь), находятся в электростатическом поле. Для того, чтобы повернуть этот диполь на 180° вокруг центра стержня, внешним силам нужно совершить работу A . Какую работу нужно совершить внешним силам (после поворота) для того, чтобы унести диполь из этого поля на бесконечность? Потенциал бесконечно удаленных точек равен нулю.

Возможное решение

Пусть φ_1 – потенциал электростатического внешнего поля в точке, где расположен первоначально заряд $+q$, а φ_2 – потенциал электростатического внешнего поля в точке, где расположен первоначально заряд $-q$. Запишем закон сохранения энергии в первом случае (без учёта энергии взаимодействия двух точечных зарядов $+q$ и $-q$, так как она не меняется):

$$q\varphi_1 - q\varphi_2 + A = -q\varphi_1 + q\varphi_2 \Rightarrow A = 2q(\varphi_2 - \varphi_1).$$

Запишем закон сохранения энергии во втором случае:

$$-q\varphi_1 + q\varphi_2 + A' = 0 \Rightarrow A' = q(\varphi_1 - \varphi_2) = -A/2.$$

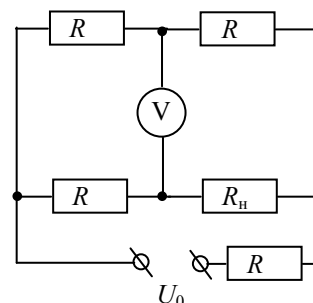
Критерии оценивания

- | | |
|--|---------|
| 1. Закон сохранения энергии в первом случае | 3 балла |
| 2. Закон сохранения энергии во втором случае | 3 балла |
| 3. Получено правильное выражение для работы A' | 4 балла |

В случае, если правильно найден модуль работы A' (то есть не учтен знак) – снимается 2 балла (максимальная оценка за задачу в этом случае составляет 8 баллов).

Примечание. Если получен правильный ответ, но разобран некоторый частный случай электростатического внешнего поля (а не общий), тогда ученику ставится 6 баллов.

5. В электрической цепи, схема которой показана на рисунке, сопротивления резисторов R и напряжение U_0 на клеммах источника известны, вольтметр идеальный. При каком сопротивлении нагрузки R_n в ней будет выделяться максимальная мощность, и какое напряжение U в этом случае будет показывать вольтметр?



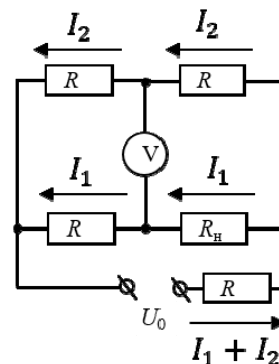
Возможное решение

Поскольку вольтметр идеальный, то ток через него не течёт. Введём обозначения I_1 и I_2 для сил токов, текущих в среднем и верхнем участках цепи, как показано на рисунке.

В соответствии с законом сохранения электрического заряда, сила тока, текущего через источник, равна $I_1 + I_2$. Поэтому:

$$I_1(R + R_H) = 2I_2R,$$

$$(I_1 + I_2)R + 2I_2R = U_0.$$



Решив совместно два этих уравнения, получим:

$$I_2 = \frac{1}{3} \left(\frac{U_0}{R} - I_1 \right), \quad I_1 = \frac{2U_0}{5R + 3R_H}.$$

Мощность, выделяющаяся в нагрузке, равна

$$P = \frac{4U_0^2 R_H}{(5R + 3R_H)^2}.$$

Приравняв к нулю производную этого выражения по R_H , найдём, что выделяющаяся в нагрузке мощность максимальна при $R_H = (5/3)R$.

При таком сопротивлении нагрузки $I_1 = U_0/(5R)$, $I_2 = 4U_0/(15R)$. Показания вольтметра составят

$$U = (I_2 - I_1)R = \frac{1}{15} U_0.$$

Критерии оценивания

1. Правильно указана связь сил токов в цепи **1 балл**
2. Записана система уравнений, позволяющая выразить силу тока через сопротивление нагрузки или напряжение на нагрузке через известные параметры **2 балла**
3. Получено правильное выражение для мощности, выделяющейся в нагрузке **2 балла**
4. Найдено сопротивление нагрузки, при котором выделяющаяся в ней мощность максимальна **3 балла**
5. Найдены показания вольтметра в случае максимальной мощности **2 балла**