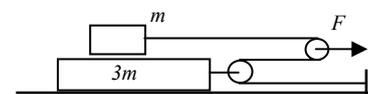


ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
 ПО ФИЗИКЕ. 2017–2018 уч. г.
 МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. 11 КЛАСС



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:

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

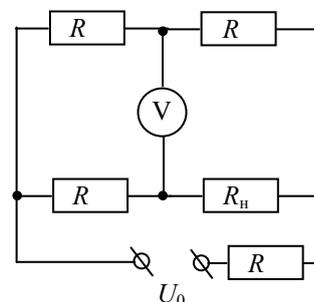
Критерии оценивания

- | | |
|--|---------|
| 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?



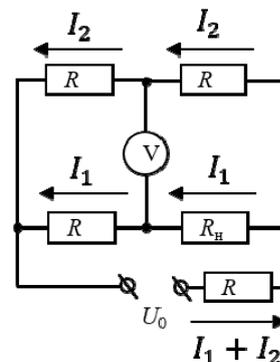
Возможное решение

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**