Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников по физике
11 класс

Критерии оценивания и возможные решения

Максимальный балл – 50 баллов (за выполнение каждого задания – 10 баллов)

1. Рабочему на стройке необходимо засыпать яму песком. Ящик с песком стоит на горизонтальнойповерхности с коэффициентом трения μ. Масса песка в ящике M.Найдите минимальное значение энергии, необходимое для перемещения песка в яму,находящуюся на расстоянии L от ящика по горизонтали. Песок можно перебрасывать лопатой сразу из исходного положения, или сначала передвинув ящик ближе к яме, толкая его горизонтально направленной силой. Ускорение силы тяжести g. Массой самого ящика и его размером по сравнению с L пренебречь.

Возможное решение

С любого расстояния рабочему выгоднее всего бросать песок под углом 45°к горизонту, т.к дальность полета в этом случае будет максимальна.

При начальной скорости $\boldsymbol{\upsilon}$ максимальная дальность полета равна $\boldsymbol{L = \upsilon^2/g}$. Если бросать на исходное расстояние $\boldsymbol{L}$, то затраты энергии строителя идут на сообщение песку кинетической энергии:

$$\boldsymbol{M\upsilon^2/2 = MgL/2}. \qquad \textit{(3 балла)}.$$

Если передвинуть ящик на некоторое расстояние $\boldsymbol{x}$ к яме. Тогда затраты на переброс уменьшатся до величины $\boldsymbol{Mg(L - x)/2}$, но потребуется еще работа $\boldsymbol{\mu Mgx}$на перемещение ящика ближе к яме.

Всего потребуется энергии

$$\boldsymbol{Mg(L - x)/2 + \mu Mgx= MgL/2 +Mg\, x(\mu - 1/2)}. \qquad \textit{(3 балла)}.$$

Видно, что при $\boldsymbol{\mu > 1/2}$ затраты только увеличатся, а при обратном условии уменьшаются тем сильнее, чембольше $\boldsymbol{x}$. ***(1 балл).***

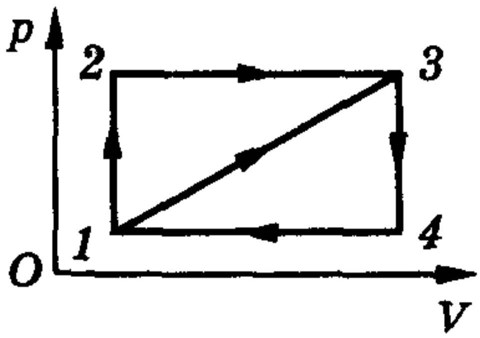
Вывод: при $\boldsymbol{\mu > 1/2}$ следует перебрасывать песок из исходного положения,

$$\boldsymbol{A_{min}= MgL/2} \qquad \textit{(1 балл)};$$

при $\boldsymbol{\mu < 1/2}$ следует толкать ящик до ямы, $\boldsymbol{Amin= \mu MgL}$ *(1 балл)*;

при $\boldsymbol{\mu = 1/2}$ работа $\boldsymbol{A_{min}= MgL/2}$ и не зависит от способа (т.е. выбора величины $\boldsymbol{x}$)*(1 балл)*.

2. КПД цикла 1-2-3-4-1, представленного на рисунке, равен 40 %. Определите КПД цикла 1-3-4-1.



Возможное решение

Коэффициент полезного действия цикла 1-2-3-4-1 можно записать как$\boldsymbol{\eta} = \frac{A}{\boldsymbol{Q_{12}+Q_{23}}}$, а цикла 1-3-4-1 – $\boldsymbol{\eta_1} = \frac{\frac{1}{2}A}{\boldsymbol{Q_{13}}}$. Вывод о связи полезных работ делаем опираясь на геометрический смысл площади цикла в координатах ***(p,V).***

Замечаем, что у рассматриваемых циклов совпадают участки 3-4 и 4-1, что дает возможность переписать выражения для коэффициентов полезного действия следующим образом: $\boldsymbol{\eta} = \frac{A}{A+|\boldsymbol{Q_{34}}|+|\boldsymbol{Q_{41}}|}$;$\boldsymbol{\eta_1} = \frac{\frac{1}{2}A}{\frac{1}{2}A+|\boldsymbol{Q_{34}}|+|\boldsymbol{Q_{41}}|}$.

Для дальнейших преобразований имеет смысл записать выражения для $\frac{1}{\eta}$ и $\frac{1}{\eta_1}$. После некоторых не совсем простых математических преобразований можно получить следующее выражение для КПД малого цикла: $\eta_1 = \frac{1}{\frac{2}{\eta}-1}$.

Расчет дает нам значение $\eta_1 = 0{,}25$, или 25%

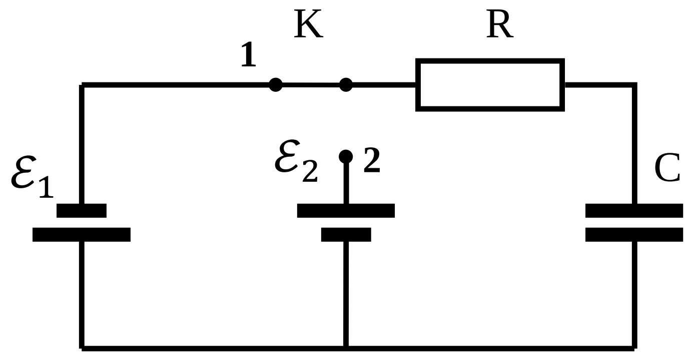


Рисунок к задаче 3

3. Два источника тока, конденсатор и резистор соединены в цепь. Определите количество теплоты Q, которое выделится на резисторе после переключения ключа K.

<u>Возможное решение</u>

До переключения ключа заряд конденсатора $\boldsymbol{q_1=C\varepsilon_1}$. *(1 балл)*.

При этом верхняя обкладка конденсатора заряжена отрицательно, а нижняя – положительно.

Энергия конденсатора $W_1 = \frac{q_1^2}{2C}$. *(+1 балл)*.

Спустя некоторое время после переключения ключа заряд конденсатора станет

$\boldsymbol{q_2=C\varepsilon_2}$, *(+1 балл)*.

Верхняя обкладка зарядится положительно, нижняя – отрицательно.

Энергия конденсатора $W_2 = \frac{q_2^2}{2C}$ *(+1 балл)*.

ЭДС $\boldsymbol{\varepsilon_2}$ при перезарядке конденсатора совершит работу

$\boldsymbol{A=\varepsilon_2(q_1+q_2)}$. *(+2 балла)*

Работа ЭДС приводит к изменению энергии конденсатора и выделению на резисторе теплоты $\boldsymbol{Q}$:

$\boldsymbol{A=Q+(W_2-W_1)}$. *(+3 балла)*.

$$Q = A-(W_2-W_1) = \varepsilon_2(q_1+q_2) - \frac{q_2^2}{2C} + \frac{q_1^2}{2C} = C\varepsilon_1\varepsilon_2 + C\varepsilon_2^2 - \frac{C\varepsilon_2^2}{2} + \frac{C\varepsilon_1^2}{2} = \frac{C}{2}(\varepsilon_1+\varepsilon_2)^2$$

$Q = \frac{C}{2}(\varepsilon_1+\varepsilon_2)^2$ *(+1 балл)*.

4. Перевёрнутая вниз горлышком колба с гелием погружена в жидкость плотности ρ. Объём гелия в ней V удерживают неизменным при остывании гелия, медленно

поднимая колбу. Какое количество тепла отдал гелий, когда колба поднялась на h? Ускорение свободного падения g.

<u>Возможное решение</u>

Применим уравнение состояния идеального газа для двух положений колбы:

$$PoV = \nu RTo;\ PV = \nu RT \qquad \textit{(2 балла).}$$

Свяжем давления с высотой подъёма

$$P = Po - \rho gh \qquad \textit{(1 балл).}$$

При неизменности объёма работа газа нулевая и отданное тепло равноубыли внутренней энергии газа

$$Q = Uo - U \qquad \textit{(2 балла).}$$

Для гелия $U = (3/2)\nu RT$ и тогда

$$Q = (3/2)\nu R(To - T) \qquad \textit{(2 балла).}$$

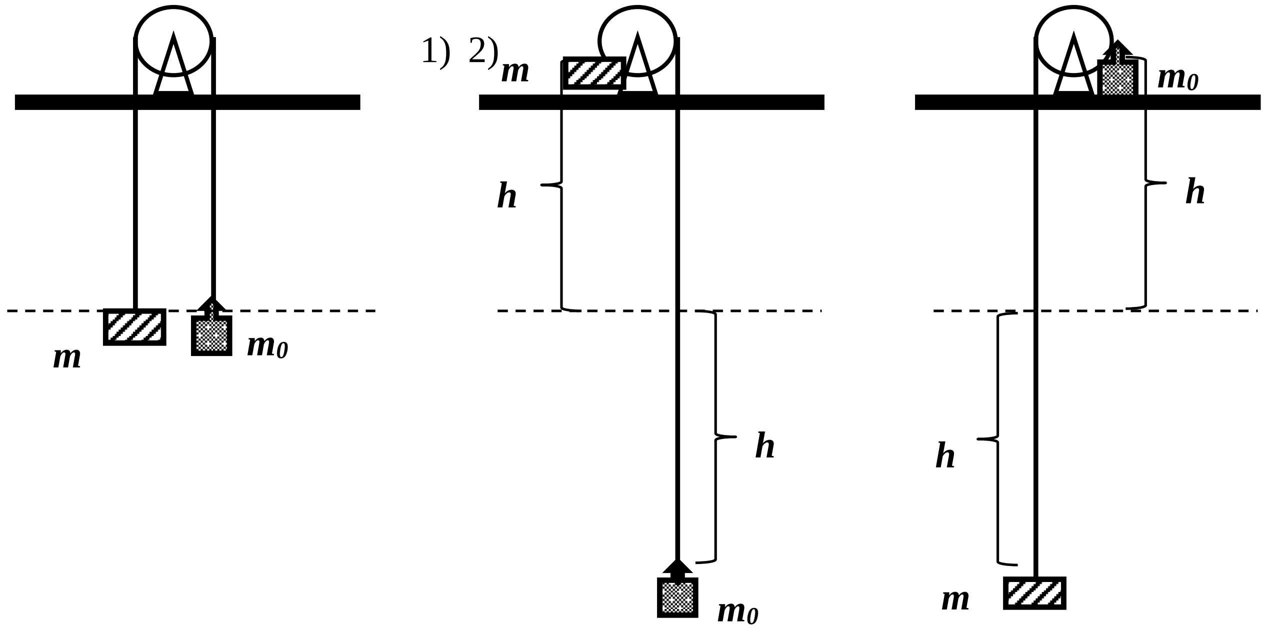
Исключая температуры с помощью уравнения состояния получаем окончательный ответ

$$Q = (3/2)\rho ghV \qquad \textit{(3 балла).}$$

5. Разработать способ взвешивания груза без весов, используя моток тонкого прочного шнура, гирю, лёгкий блок, который можно при необходимости закрепить и секундомер.

<u>Возможное решение</u>

Закрепить блок на поверхности стола (или выше), перекинуть через блок шнур, привязать к концам взвешиваемый груз с искомой массой ***m*** и гирю с известной массой m_0. Удерживая их на одинаковой начальной высоте, отпустить.



Поскольку масса груза и гири разные, то в зависимости от соотношения их масс гири и груза возможны два случая.

1) Гиря опускается, а груз поднимается. Следовательно,

$$m < m_0$$

Из 2 закона Ньютона можно найти ускорение тел:

$$a = \frac{m_0 - m}{m_0 + m} \cdot g \qquad (1)$$

С таким ускорением груз поднимается за время ***t*** на некоторую высоту ***h,*** равную

$$h = a \cdot \frac{t^2}{2} \qquad (2)$$

При этом конечным положением груза может быть уровень максимально возможного подъёма груза (уровень, на котором шнур перекинутый через блок, «отрывается» от него). Следовательно, подставляя (1) в (2), получим:

$$h = \frac{m_0 - m}{m_0 + m} \cdot g \cdot \frac{t^2}{2}$$

После преобразований, выражение для массы груза принимает вид:

$$m = \frac{g \cdot t^2 - 2h}{g \cdot t^2 + 2h} \cdot m_0 \qquad (3)$$

2) Гиря поднимается, а груз опускается. Следовательно,

$$m > m_0$$

Аналогичные рассуждения приводят к формулам:

$$a = \frac{m - m_0}{m_0 + m} \cdot g \qquad (4)$$

$$m = \frac{g \cdot t^2 + 2h}{g \cdot t^2 - 2h} \cdot m_0 \qquad (5)$$

В полученных выражениях (3) или (5) величину пути ***h***, пройденного грузом (или гирей), можно определить методом колебаний. Для этого из шнура и гири следует изготовить математический маятник, длина которого равна ***h***. С помощью секундомера определить время ***n*** колебаний этого маятника $T = \frac{\tau}{n}$

Поскольку период колебаний зависит от величины ***h*** в соответствии с формулой (при малых углах отклонения маятника):

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{h}{g}}$$

то, приравнивая выражения для периода, получим:

$$h = g \cdot \left(\frac{\tau}{2\pi \cdot n} \right)^2 \qquad (6)$$

Тогда для массы груза получим выражения

$$m = \frac{2\pi^2 n^2 \cdot t^2 - 2\tau^2}{2\pi^2 n^2 \cdot t^2 + 2\tau^2} \cdot m_0 \qquad (7)$$

$$m = \frac{2\pi^2 n^2 \cdot t^2 + 2\tau^2}{2\pi^2 n^2 \cdot t^2 - 2\tau^2} \cdot m_0 \qquad (8)$$

Критерии оценивания задачи 5:

Обозначена основная идея эксперимента *(1 балл)*
Сделано сравнение масс,
выведено уравнение для ускорения (1) *(1 балл)*
выведено уравнение для ускорения (4) *(1 балл)*
Выведено уравнение для массы груза (3) или (5) *(2балла)*
Предложен и описан метод для нахождения величины h*;* *(2 балла)*
Выведена формула (6) *(1 балл)*
выведено уравнение для массы (7) *(1 балл)*
выведено уравнение для массы (8) *(1 балл)*

Решение каждой задачи оценивается целым числом баллов от 0 до 10.

Если задача решена не полностью, а её решение не подпадает под авторскую систему оценивания, то жюри вправе предложить свою версию системы оценивания.

Альтернативные способы решения задач, не учтенные составителями задач в рекомендациях, при условии их правильности и корректности также оцениваются в полной мере.

Ниже представлена общая схема оценивания решений.

Баллы	**Правильность (ошибочность) решения**
10	Полное верное решение
8	Верное решение. Имеются небольшие недочеты, в целом не влияющие на решение.
5-6	Решение в целом верное, однако, содержит существенные ошибки (не физические, а математические).
5	Найдено решение одного из двух возможных случаев.
2-3	Есть понимание физики явления, но не найдено одно из необходимых для решения уравнений, в результате полученная система уравнений не полна и невозможно найти решение.
0-1	Есть отдельные уравнения, относящиеся к сути задачи при отсутствии решения (или при ошибочном решении).
0	Решение неверное, или отсутствует.