Московская олимпиада школьников по физике, 2014/15, второй тур, 11 класс

Задачи, ответы и критерии оценок

Авторы задач:
С.Д. Варламов, Е.А.Вишнякова, Е.А. Мажник, М.Ю. Ромашка

Каждая задача оценивается из 10 баллов. Всего участник может набрать до 50 баллов.

Задача 1. С наклонной плоскости без проскальзывания скатывается тонкостенная труба, наматывая на себя сверху легкую и тонкую веревку, которую можно считать нерастяжимой. Свободный конец веревки прикреплен к бруску, лежащему на плоскости выше трубы. Масса трубы M, масса бруска $M/2$. Ось трубы горизонтальна, свободный участок веревки параллелен наклонной плоскости и перпендикулярен оси трубы. Плоскость составляет с горизонтом угол $\alpha = 30°$. Ускорение, с которым поступательно движется брусок вслед за трубой, равно $0{,}3g$. Чему равен коэффициент трения μ между бруском и плоскостью?

Ответ: коэффициент трения между бруском и плоскостью равен $\mu = \dfrac{4\sqrt{3}}{15} \approx 0{,}46$.

Критерии оценок:

При решении с использованием закона изменения механической энергии:

Правильно записано (в том числе словами) уравнение кинематической связи (то, что ускорение оси трубы вдвое меньше ускорения бруска) – 2 балла

Правильно найдена скорость бруска (или оси трубы) при прохождении некоторого расстояния L – 1 балл

Правильно записан закон изменения механической энергии – 4 балла. Если предыдущий пункт явно не проделан, но в уравнении фигурируют правильные значения скоростей бруска и оси трубы – то сюда добавляется 1 балл из предыдущего пункта. Если в законе изменения механической энергии неправильно учтена кинетическая энергия катящейся трубы (ошибка в 2 раза), то за этот пункт ставится 2 балла.

Из закона изменения механической энергии получен правильный ответ для μ – 3 балла. Если по ходу вычислений сделана арифметическая ошибка, то за этот пункт ставится 2 балла.

При решении с использованием уравнений динамики (с использованием момента инерции):

Правильно записано (в том числе словами) уравнение кинематической связи (то, что ускорение оси трубы вдвое меньше ускорения бруска) – 2 балла

Правильно записан второй закон Ньютона для движения бруска вдоль плоскости – 1 балл

Правильно записан второй закон Ньютона для центра масс трубы – 2 балла

Правильно записано уравнение моментов для качения трубы – 2 балла (либо 4 балла, если оно записано относительно мгновенной оси вращения – в этом случае уравнение движения центра масс не нужно). В любом случае, если правильно записана полная система динамических уравнений для бруска и трубы (это может быть 2 или 3 уравнения – в зависимости от того, как выбрана ось для записи уравнения моментов) – то за это ставится всего 5 баллов.

Получен правильный ответ для μ – 3 балла. Если по ходу вычислений сделана арифметическая ошибка, то за этот пункт ставится 2 балла.

Всего: 10 баллов.

Задача 2. Один моль идеального газа участвует в циклическом процессе $1 \to 2 \to 3 \to 1$ холодильной машины. В состоянии 1 газ имеет температуру T_1 и объем V_1. Известно, что все переходы газа из одного состояния в другое – политропические. Показатель политропы процесса $2-3$ на единицу больше показателя политропы процесса $1-2$ и на единицу меньше показателя политропы процесса $3-1$. В процессе $1-2$ объем газа уменьшается в k раз. Один из процессов цикла – изотермический.

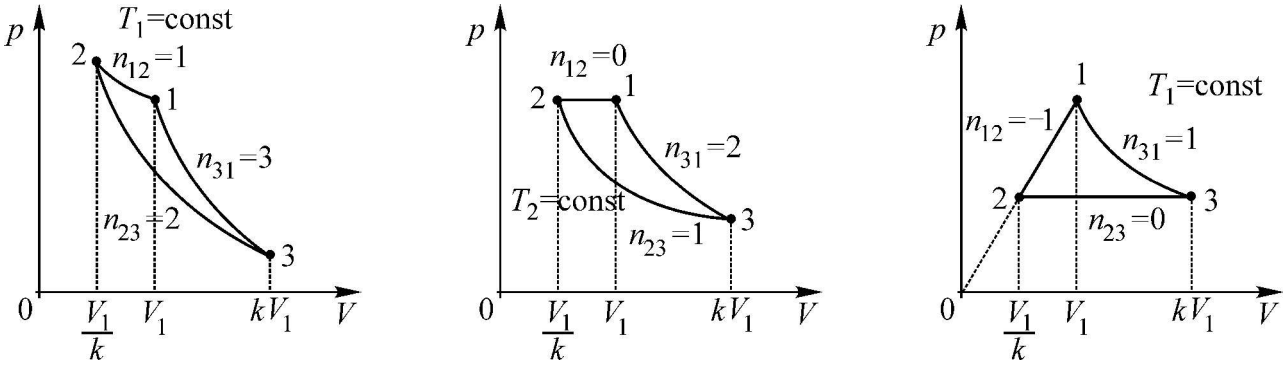
1) Определите объем газа в состоянии 3.

2) Изобразите на $pV-$диаграмме цикл, соответствующий условию задачи, указав для каждого из процессов его показатель политропы.

3) Чему может быть равна температура газа в состоянии 3?

Справка: Политропическим называется процесс, в течение которого теплоемкость газа не изменяется: $C = \text{const}$. Уравнение такого процесса имеет вид $pV^n = \text{const}$, или $p_1V_1^n = p_2V_2^n$. Величину *n* называют показателем политропы.

Ответ: 1) объем газа в состоянии 3 равен $V_3 = kV_1$; 2) три возможные pV –диаграммы показаны на рисунке; 3) температура газа в состоянии 3 может быть равна $T_3 = \frac{T_1}{k^2}$, $T_3 = \frac{T_1}{k}$ или $T_3 = T_1$ (в порядке следования диаграмм).



Критерии оценок:

Правильно найден объем V_3 – 2 балла

Правильно найдена связь между T_3 и T_1 при произвольном n – 2 балла

Рассмотрены три возможных цикла, удовлетворяющих условию задачи, при этом на каждой диаграмме:

правильно изображены линии, соответствующие трем политропическим процессам – 0,5 балла;

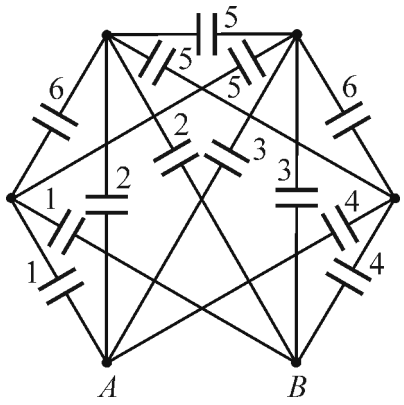
для каждого из трех процессов указан показатель политропы – всего 1 балл

Определены три возможных значения температуры T_3 (для трех возможных диаграмм) – по 0,5 балла за каждое правильное значение.

Таким образом, если правильно рассмотрен только один вариант из трех, то за задачу ставится 6 баллов.

Всего: 10 баллов.

Задача 3. Найдите электрическую емкость участка *AB* цепи, схема которого приведена на рисунке. Емкости конденсаторов указаны на схеме в мкФ, емкостью соединительных проводов можно пренебречь. Провода соединены только в местах, обозначенных точками.

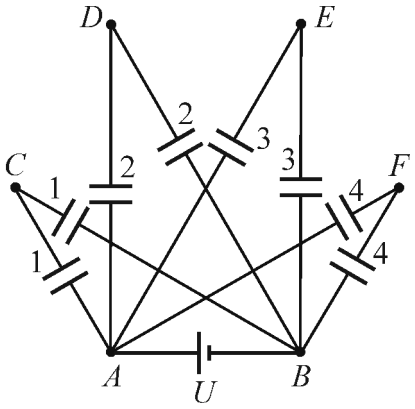


Ответ: электрическая емкость участка *AB* цепи равна $C_{AB} = 5$ мкФ.

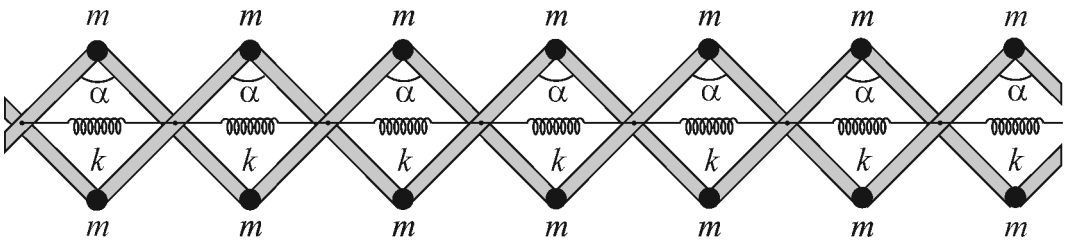
Критерии оценок: Замечено и обосновано, что потенциалы точек *C*, *D*, *E* и *F* одинаковы – 5 баллов. Если обоснования нет (это просто указано и используется – 2 балла)

Нарисована эквивалентная схема, из которой исключены «лишние» конденсаторы емкостями 5 мкФ и 6 мкФ – 1 балл.

Правильно найдена электрическая емкость участка цепи – 4 балла (если при вычислении емкости сделана арифметическая ошибка – 2 балла)



Задача 4. Шарнирная конструкция состоит из очень большого числа *N* периодически повторяющихся одинаковых звеньев (см. рис). Каждое звено включает в себя пружину, концы которой прикреплены к серединам двух пар скрещенных реек, два сферических шарнирных блока и четыре половинки самих реек. Шарнирные блоки дают возможность рейкам свободно вращаться в пространстве. Жёсткость каждой из пружин равна *k*, масса каждого из шарнирных блоков равна *m*, все остальные элементы невесомы, трения нигде нет. Когда пружины не деформированы, рейки образуют между собой угол α. Концы этой конструкции соединили между собой, образовав большое кольцо, так, что пружины расположились вокруг цилиндрической поверхности. Получившаяся система колеблется таким образом, что в каждый момент времени все пружины сжаты или растянуты одинаково. Найдите период этих колебаний вокруг положения равновесия, считая их малыми. Система находится в невесомости.



Ответ: Период малых колебаний системы равен $T = N\sqrt{\dfrac{2m}{k}}$.

Критерии оценок: *Задача может правильно решаться при помощи большого набора*

разных верных способов! При решении с помощью энергетических соображений можно выбирать координату разным способом, и выражать энергию через эту координату и соответствующую скорость.

Записано правильное выражение для потенциальной энергии системы (при любом выборе координаты) – 2 балла.

Правильно записано уравнение кинематической связи для радиальной и осевой составляющих скорости шарнирного блока (или отдельно выписаны выражения для составляющих скоростей, при любом выборе координаты) – 2 балла.

Правильно записано выражение для кинетической энергии системы – 2 балла

Получено правильное выражение для частоты малых гармонических колебаний системы – 3 балла (если правильно записан закон сохранения механической энергии, но при получении из него уравнения гармонических колебаний или их частоты сделана вычислительная ошибка – ставится 1 балл)

Получен правильный ответ для периода малых гармонических колебаний системы – 1 балл

Примечание: малым слагаемым $\sim 1/N^2$ *в выражении для кинетической энергии можно пренебречь на любом этапе решения; снижать баллы за это не следует.*

Всего: 10 баллов.

Задача 5. Внутри прозрачного шестигранного корпуса шариковой ручки имеется круглый канал, заполненный чернилами. При рассматривании темного канала через прозрачный корпус было отмечено, что вращение корпуса вокруг его оси симметрии приводит к изменению видимой толщины канала с чернилами. Ширина видимой темной полосы максимальна, когда ближайшее ребро шестигранника, ось симметрии ручки и глаз наблюдателя лежат в одной плоскости. Отношение максимальной видимой толщины канала к его минимальной видимой толщине при неизменном расстоянии от ручки до глаза (которое во много раз больше толщины ручки) равно двум. Отношение диаметра d канала к длине L стороны шестигранника равно $d/L = \sqrt{3}/4$. Найдите показатель преломления n материала, из которого сделан корпус.

Ответ: показатель преломления материала корпуса ручки $n = 2$**.**

Критерии оценок: Нарисован ход лучей для положения корпуса ручки, при котором наблюдается максимальная ширина канала – 3 балла.

Указано, что минимальная видимая ширина канала, равная его настоящему диаметру d, достигается тогда, когда канал рассматривается через одну из граней корпуса, и все лучи проходят через эту грань – 1 балл.

Доказано, что лучи, идущие от точек канала, расположенных максимально далеко от оси симметрии ручки, проходят через середины двух соседних граней корпуса, через которые виден канал – 2 балла.

Найден синус угла падения крайнего луча на стенку канала – 2 балла

Найден синус угла преломления при прохождении крайнего луча через стенку канала – 1 балл

Получен правильный ответ для показателя преломления – 1 балл

Всего: 10 баллов.