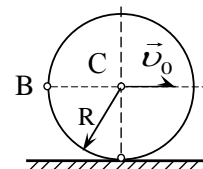


**Первый (отборочный) этап академического соревнования
Олимпиады школьников «Шаг в будущее» по образовательному предмету
«Физика», осень 2016 г.**

Вариант № 4

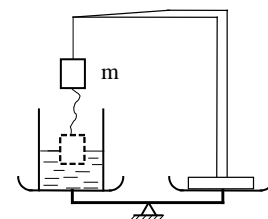
ЗАДАЧА 1.

Диск катится без проскальзывания по горизонтальной плоскости так, что его центр C движется со скоростью $v_0 = 10 \text{ см/с}$. В момент времени $t = 0$ началось торможение диска, такое, что модуль ускорения точки C равен $a = 2,5 \text{ см/с}^2$. Через $t = 2 \text{ с}$ после начала торможения положение диска соответствует рисунку. Найдите модуль скорости точки B диска относительно горизонтальной плоскости.



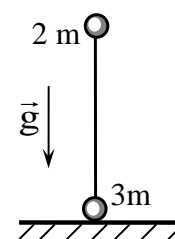
ЗАДАЧА 2.

На одной чаше весов стоит сосуд с водой, а на другой – штатив, на котором подвешен деревянный груз объёмом $V = 1 \text{ дм}^3$, плотность материала которого $\rho = 0,75 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Чаши весов уравновешены. Нить, на которой подвешен груз, удлиняют так, чтобы подвешенный на ней груз свободно плавал в воде. Равновесие весов при этом нарушится. На какую чашу весов и какой массы нужно положить гирьку, чтобы восстановить равновесие? Массой нити пренебречь. Плотность воды. $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$.



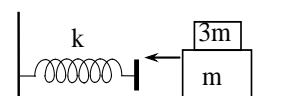
ЗАДАЧА 3.

На гладкую горизонтальную поверхность поставили вертикально гантельку длины ℓ , состоящую из невесомого жесткого стержня с двумя маленькими шариками на концах, массы которых $2m$ и $3m$. Гантельку отпускают без начальной скорости, и она начинает падать. Найдите скорость, с которой верхний шарик коснётся горизонтальной поверхности, и величину перемещения нижнего шарика к этому моменту времени. Силами трения пренебречь.



ЗАДАЧА 4.

Два бруска движутся по горизонтальной гладкой поверхности и налетают на упор, соединённый со стеной с помощью пружины жёсткости k . Масса нижнего бруска m , верхнего – $3m$. Коэффициент трения между брусками равен μ . Найдите наибольшую скорость движения брусков v , при которой верхний брусок



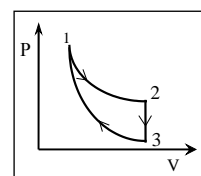
не проскальзывает относительно нижнего в процессе сжатия пружины. Массами упора и пружины пренебречь.

ЗАДАЧА 5.

Теплоизолированный баллон разделён теплоизолирующей перегородкой с клапаном на две части. При закрытом клапане в одной части баллона объёма $V_1 = 6$ л находится водород при давлении $p_1 = 4 \cdot 10^5$ и температуре $T_1 = 400$ К, а в другой части баллона объёма $V_2 = 3$ л находится аргон при давлении $p_2 = 2 \cdot 10^5$ и температуре $T_2 = 800$ К. Найдите температуру газа, которая установится в баллоне после открытия клапана.

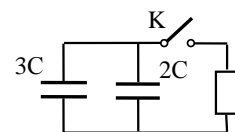
ЗАДАЧА 6.

Рабочим телом тепловой машины является один моль одноатомного идеального газа. Цикл машины состоит из изотермы 1-2, изохоры 2-3 и адиабаты 3-1. Работа, совершённая газом в изотермическом процессе $A = 6$ кДж, а разность максимальной и минимальной температур газа в цикле $\Delta T = 400$ К. Найдите КПД цикла тепловой машины.



ЗАДАЧА 7.

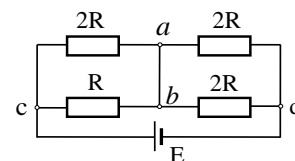
В электрической схеме, показанной на рисунке, ёмкости плоских конденсаторов равны $3C$ и $2C$. Расстояние между обкладками конденсатора $2C$ равно d , а максимальная сила притяжения между его обкладками равна



F . Определите количество теплоты Q , выделившееся на сопротивлении после замыкания ключа K .

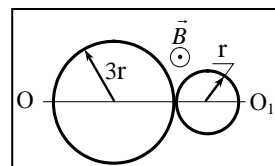
ЗАДАЧА 8.

Найдите ток, протекающий через перемычку ab в схеме, представленной на рисунке. Сопротивлениями перемычки, проводящих проводов и внутренним сопротивлением батареи пренебречь.



ЗАДАЧА 9.

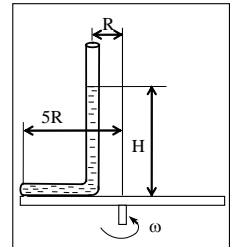
Из проволоки, общим сопротивлением R , сделан плоский замкнутый контур в виде восьмёрки, состоящий из двух окружностей радиусами r и $3r$. Контур находится в однородном магнитном поле с индукцией B , направленной перпендикулярно плоскости контура.



Найдите заряд, который протечёт через поперечное сечение провода при повороте контура вокруг оси симметрии OO_1 на 180° . Между пересекающимися на рисунке проводами электрический контакт отсутствует.

ЗАДАЧА 10.

Тонкая трубка, запаянная с одного конца, заполнена жидкостью и закреплена на горизонтальной платформе, вращающейся с угловой скоростью ω вокруг вертикальной оси. Открытое колено трубки вертикально. Геометрические размеры установки указаны на рисунке. Атмосферное давление P_0 , плотность жидкости равна ρ . Найдите давление жидкости у запаянного конца трубки. Силами поверхностного натяжения пренебречь.



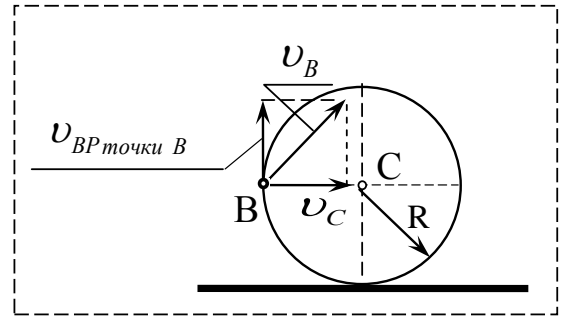
Решение варианта №4

ЗАДАЧА 1. (8 баллов)

Ответ: $\boxed{v_B = 7 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}}$.

Скорость центра диска (точки С) через время t после начала движения равна $v_C = v_0 - a \cdot t$ и определяет скорость поступательного движения диска в этот момент времени. Каждая точка на поверхности

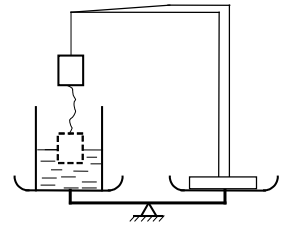
диска участвует одновременно в двух движениях- поступательном со скоростью центра диска v_C и вращательном относительно центра диска точки С со скоростью $v_{BP} = v_C$. Скорость точки В $v_B = \sqrt{v_C^2 + v_{BP}^2}$. Используя численные условия задачи, получим $v_B = 7 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}$.



ЗАДАЧА 2. (8 баллов)

Ответ: $\boxed{m = 1,5\rho \cdot V = 1,5\kappa\text{г}}$

На правую чашку весов нужно положить груз, масса которого $\boxed{m = 1,5\rho \cdot V = 1,5\kappa\text{г}}$, где ρ - плотность воды, а V – объём груза.

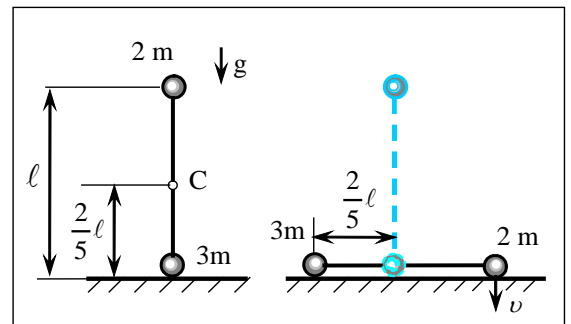


ЗАДАЧА 3. (10 баллов)

Ответ: $\boxed{v = \sqrt{2gl}}$, $\boxed{\Delta r = \frac{2}{5}l}$.

После того, как гантельку отпустили без начальной скорости, она начала падать. Так как трение отсутствует, то центр масс гантельки будет двигаться вниз по вертикали.

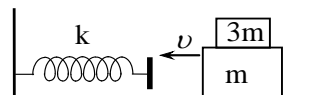
Скорость, с которой верхний шарик коснётся горизонтальной поверхности, равна $v = \sqrt{2gl}$.



Величина перемещения нижнего шарика к этому моменту времени равна $\Delta r = \frac{2}{5}l$.

ЗАДАЧА 4. (10 баллов)

Ответ:
$$\boxed{v \leq 2\mu g \sqrt{\frac{m}{k}}}$$



При сжатии пружины максимальное ускорение брусков $a = v \cdot \omega$ (1), где

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{3m+m}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{k}{m}} - \text{циклическая частота колебательной системы.}$$

Максимальная величина силы трения покоя, действующей на верхний брусок, $F_{TP} = \mu 3mg$ и, следовательно, ускорение верхнего бруска $a_1 = \mu \cdot g$ (2). Из (1) и (2) следует, что верхний брусок не будет проскальзывать при условии, что $a \leq a_1$, то есть $v \cdot \omega \leq \mu \cdot g$. Откуда находим

$$v \leq \frac{\mu \cdot g}{\omega} \leq 2\mu g \sqrt{\frac{m}{k}}.$$

ЗАДАЧА 5. (5 баллов)

Ответ:
$$\boxed{T = \frac{(5p_1V_1 + 3p_2V_2)T_1T_2}{5p_1V_1T_2 + 3p_2V_2T_1} \approx 428K}$$

Так как баллон теплоизолирован, то внутренняя энергия газа остаётся постоянной..

$(c_{v1}v_1 + c_{v2}v_2)T = c_{v1}v_1T_1 + c_{v2}v_2T_2$, где T – температура газа, которая установится в баллоне после открытия клапана. Выразим из этого равенства

$$T = \frac{c_{v1}v_1T_1 + c_{v2}v_2T_2}{c_{v1}v_1 + c_{v2}v_2} \quad (1),$$

Здесь v_1 и v_2 находим, используя уравнение состояния идеального газа $v_1 = \frac{p_1V_1}{RT_1}$

и $v_2 = \frac{p_2V_2}{RT_2}$. $c_{v1} = \frac{5}{2}R$; $c_{v2} = \frac{3}{2}R$. Подставляя эти выражения в (1), получим

$$T = \frac{\frac{5}{2}R \cdot \frac{p_1V_1}{RT_1}T_1 + \frac{3}{2}R \cdot \frac{p_2V_2}{RT_2}T_2}{\frac{5}{2}R \cdot \frac{p_1V_1}{RT_1} + \frac{3}{2}R \cdot \frac{p_2V_2}{RT_2}} = \frac{5p_1V_1 + 3p_2V_2}{\frac{5p_1V_1}{T_1} + \frac{3p_2V_2}{T_2}} = \frac{(5p_1V_1 + 3p_2V_2)T_1T_2}{5p_1V_1T_2 + 3p_2V_2T_1}.$$

Подставив числовые значения, найдём

$$T = \frac{(5 \cdot 4 \cdot 10^5 \cdot 6 \cdot 10^{-3} + 3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 3 \cdot 10^{-3}) \cdot 4 \cdot 8 \cdot 10^4}{5 \cdot 4 \cdot 10^5 \cdot 6 \cdot 10^{-3} \cdot 8 \cdot 10^2 + 3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 3 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 10^2} = \frac{(5 \cdot 4 \cdot 6 + 3 \cdot 2 \cdot 3) \cdot 10^2 \cdot 9 \cdot 3 \cdot 10^4}{(5 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 8 + 3 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4) 10^4} =$$

$$= \frac{(120 + 18) \cdot 32 \cdot 10^2}{960 + 72} = \frac{138 \cdot 32 \cdot 10^2}{1032} = \frac{4416 \cdot 10^2}{1032} = 428 K$$

ЗАДАЧА 6. (10 баллов)

Ответ: $\eta = 1 - \frac{\nu \frac{3}{2} R \Delta T}{A_{1-2}} = 0,17 = 17\%$

КПД цикла по определению равен

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}, \text{ где}$$

Q_1 – теплота, подводимая к газу за цикл,

Q_2 – теплота, которая отводится за цикл,

Минимальная температура газа T_3 , максимальная T_1 . ($T_1 = T_2$).

Тепло в цикле отводится только в изохорном процессе 2-3.

$$|Q_2| = \nu \cdot c_v \Delta T = \nu \frac{3}{2} R (T_2 - T_3) = \nu \frac{3}{2} R \Delta T$$

В данном процессе теплота за цикл подводится только на участке 1-2 и её количество

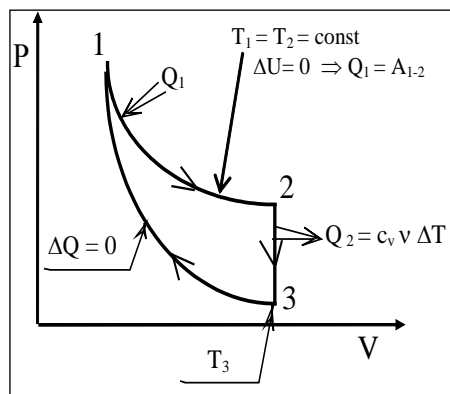
Q_1 равно работе газа на изотерме A_{12} . То есть $Q_1 = A_{1-2} = 6 \text{ кДж} = 6 \cdot 10^3 \text{ Дж}$

$$\eta = 1 - \frac{\nu \frac{3}{2} R \Delta T}{A_{1-2}}$$

Подставив числовые значения, $\nu = 1$, $\Delta T = 400$, $A_{1-2} = 6 \cdot 10^3 \text{ Дж}$,

найдем

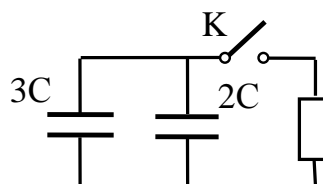
$$\eta = 1 - \frac{3}{2} \cdot \frac{8,31 \cdot 400}{6 \cdot 10^3} = 1 - 0,83 \approx 0,17 \approx 17\%$$



ЗАДАЧА 7. (10 баллов)

Ответ: $Q = \frac{5}{2} Fd$

1) $F = \frac{2CU^2}{2d}$, откуда $\frac{U^2}{2} = \frac{Fd}{2C}$



2) Т.к. $Q = \frac{C_{Б\text{АТ}} U^2}{2}$, где $C_{Б\text{АТ}} = 3C + 2C = 5C$,

$$Q = \frac{5C}{2C} \cdot Fd = \frac{5}{2} Fd.$$

ЗАДАЧА 8. (10 баллов)

Ответ: $I = \frac{E}{10R}$ Ток течёт от точки **b** к

точке **a**.

По закону Ома для замкнутого контура

$$I_o = \frac{E}{R_\Sigma},$$

где $R_\Sigma = \frac{2R}{3} + R = \frac{5}{3}R$ и $I_o = \frac{3E}{5R}$ (1).

Воспользуемся уравнением Кирхгофа

для узла **c**:

$I_o = I_1 + I_2$ (2); для контура **abca**: $I_1 \cdot 2R - I_2 R = 0$ (3). Из (2) и (3) получим $I_1 = \frac{I_o}{3}$;

$$I_2 = \frac{2I_o}{3} \quad (4)$$

для узла **d**:

$I_o = I_3 + I_4$ (5); для контура **adba**: $I_3 2R - I_4 2R = 0$ (6). Из (5) и (6) получим

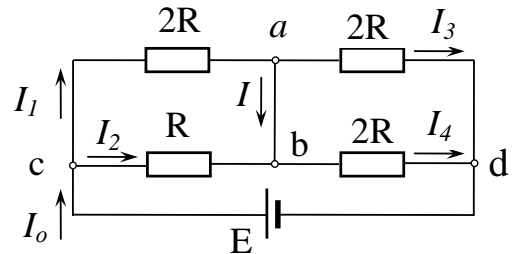
$$I_3 = I_4 = \frac{1}{2} I_o \quad (7)$$

для узла **a**: $I_1 = I + I_3$, где $I = I_1 - I_3$ (8)

Подставляя найденные значения токов (1), (4) и (7), найдём

$$I = \frac{I_o}{3} - \frac{1}{2} I_o = -\frac{I_o}{6} = -\frac{3E}{6 \cdot 5 \cdot R} = -\frac{E}{10R}.$$

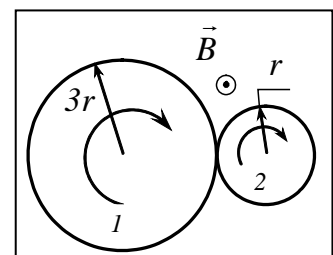
Ток течёт от точки **b** к точке **a**.



ЗАДАЧА 9. (12 баллов)

Ответ: $q = \frac{16\pi r^2 B}{R}$.

$q = \frac{\Delta\Phi_1 - \Delta\Phi_2}{R} = \frac{S_1 - S_2}{R} \Delta B$, где $\Delta\Phi_1$ и $\Delta\Phi_2$ — изменения



магнитных потоков через поверхность большого и малого кругов; $\Delta B = 2B$

$$q = \frac{S_1 - S_2}{R} \Delta B = \frac{\pi(3r)^2 - \pi r^2}{R} \cdot 2B = \frac{16\pi \cdot r^2 B}{R} \dots$$

ЗАДАЧА 10. (12 баллов)

Ответ: $p_2 = p_o + \rho g H + 12\rho R^2 \omega^2$

Пусть p_1 - давление в месте изгиба трубки и p_2 - у запаянного конца трубки. Рассмотрим столб масла в вертикальном колене трубки, найдем, что давление жидкости в месте изгиба трубки $p_1 = p_o + \rho g H$. Центр масс масла в горизонтальном колене трубки находится на расстоянии $3R$ от оси вращения и имеет ускорение $a = \omega^2 \cdot 3R$. Масса масла в горизонтальном колене $m = \rho 4RS$, где S - площадь поперечного сечения трубки. Запишем второй закон Ньютона для этой массы жидкости $ma = p_2 S - p_1 S$. Подставив в это уравнение выражения m и a , находим $\rho S 4R \cdot 3R \omega^2 = (p_2 - p_1) S$. Подставив в это уравнение выражения для p_1 , находим

$$p_2 = p_1 + 12\rho R^2 \omega^2 = p_o + \rho g H + 12\rho R^2 \omega^2.$$

