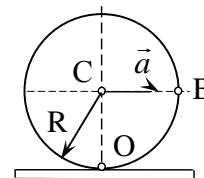


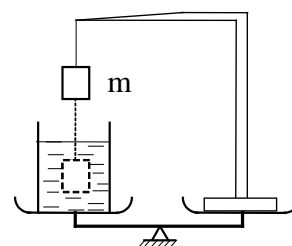
**Первый (отборочный) этап академического соревнования  
Олимпиады школьников «Шаг в будущее» по образовательному предмету  
«Физика», осень 2016 г.**

**Вариант № 1**

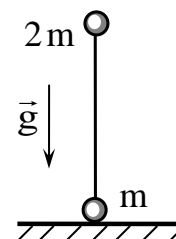
1. Диск катится без проскальзывания по горизонтальной плоскости так, что его центр  $C$  движется с постоянным ускорением  $a = 2,5 \text{ см/с}^2$ . Через время  $t = 2 \text{ с}$  после начала движения его положение соответствует рисунку. Найдите модуль скорости точки  $B$  диска относительно горизонтальной плоскости.



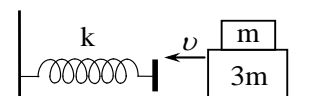
2. На одной чаше весов стоит сосуд с водой, а на другой – штатив, на котором подвешен металлический груз объёмом  $V = 1 \text{ дм}^3$ . Чаши весов уравновешены. Нить, на которой подвешен груз, удлиняют так, что подвешенный на ней груз оказался целиком погруженным в воду. Равновесие весов при этом нарушится. На какую чашу весов и какой массы груз нужно положить, чтобы восстановить равновесие весов? Массой нити пренебречь. Плотность воды  $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$ .



3. На гладкую горизонтальную поверхность поставили вертикально гантельку длины  $\ell$ , состоящую из невесомого жесткого стержня с двумя маленькими шариками на концах, массы которых  $2m$  и  $m$ . 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.

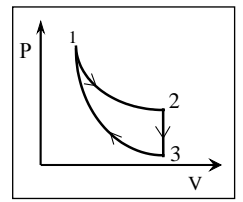


4. Два бруска движутся со скоростью  $v$  по горизонтальной гладкой поверхности и налетают на упор, соединённый с вертикальной стенкой пружиной жёсткости  $k$ . Определите минимальное значение коэффициента трения между брусками, при котором верхний брусок не будет проскальзывать относительно нижнего в процессе сжатия пружины. Масса нижнего бруска  $3m$ , верхнего –  $m$ . Массами упора и пружины пренебречь.

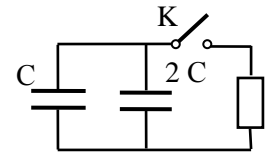


5. Теплоизолированный баллон разделён теплоизолирующей перегородкой с клапаном на две части. При закрытом клапане в одной части баллона объёма  $V_1 = 1 \text{ л}$  находится гелий при давлении  $p_1 = 8 \cdot 10^5 \text{ Па}$  и температуре  $T_1 = 300 \text{ К}$ , а в другой части баллона объёма  $V_2 = 2 \text{ л}$  находится неон при давлении  $p_2 = 4 \cdot 10^5 \text{ Па}$  и температуре  $T_2 = 600 \text{ К}$ . Найдите температуру газа, которая установится в баллоне после открытия клапана.

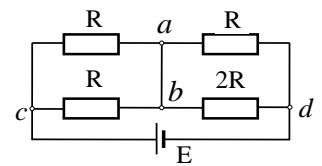
6. Рабочим телом тепловой машины является один моль одноатомного идеального газа. Цикл машины состоит из изотермы 1-2, изохоры 2-3 и адиабаты 3-1, КПД цикла  $\eta = 0,26$ , а разность максимальной и минимальной температур газа в цикле равна  $\Delta T = 600\text{K}$ . Найдите количество теплоты  $Q$ , подводимое к машине за один цикл.



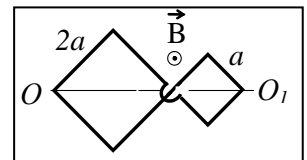
7. В электрической схеме, показанной на рисунке, ёмкости плоских конденсаторов равны  $C$  и  $2C$ . Расстояние между обкладками конденсатора  $2C$  равно  $d$ , а максимальная сила притяжения между его обкладками равна  $F$ . Определите количество теплоты  $Q$ , выделившееся на сопротивлении после замыкания ключа  $K$ .



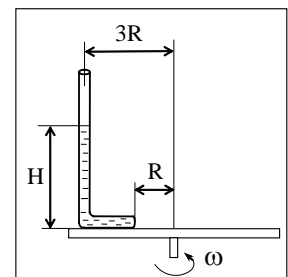
8. Найдите ток через переключку  $ab$  в схеме, представленной на рисунке. Сопротивлениями переключки, проводящих проводов и внутренним сопротивлением батареи пренебречь.



9. Из проволоки, общим сопротивлением  $R$ , сделан плоский замкнутый контур, состоящий из двух квадратов со сторонами  $a$  и  $2a$ . 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  $180^\circ$ . Между пересекающимися на рисунке проводами электрический контакт отсутствует.



10. Тонкая запаянная с одного конца трубка заполнена ртутью и закреплена на горизонтальной платформе, вращающейся с угловой скоростью  $\omega$  вокруг вертикальной оси так, что ртуть не выливается и заполняет полностью горизонтальное колено трубки. Открытое колено трубки вертикально. Геометрические размеры установки указаны на рисунке. Атмосферное давление  $P_0$ , плотность ртути  $\rho$ . Найдите давление ртути у запаянного конца трубки. Силами поверхностного натяжения пренебречь.

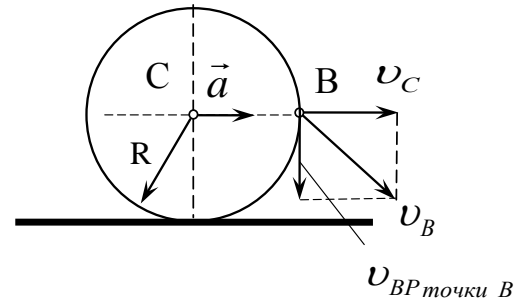


## Решение варианта №1

### Задача 1.

#### Решение:

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



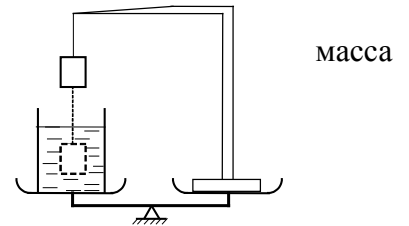
одновременно в двух движениях- поступательном со скоростью  $v_C$  и вращательном со скоростью  $u_{BP}$ . Скорость точки В  $v_B = \sqrt{v_C^2 + u_{BP}^2} = \sqrt{2} \cdot a \cdot t$ . Используя численные условия задачи, получим

$$v_B = \sqrt{2} \cdot 2,5 \cdot 2 = 7 \text{ см/с} = 7 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}.$$

**Ответ:**  $v_B = \sqrt{2} \cdot at = 7 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}$

### Задача 2.

**Решение:** На правую чашку весов нужно положить груз, которого  $m = 2\rho \cdot V = 2\text{кг}$ , где  $\rho$ - плотность воды, а  $V$  – объём груза.



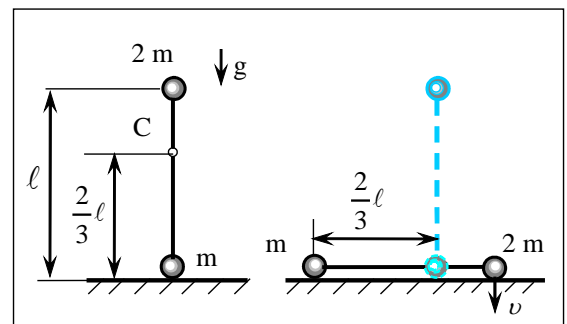
**Ответ:**  $m = 2\rho \cdot V = 2\text{кг}$

### Задача 3.

**Решение:** Центр масс гантельки находится в

точке С, расположенной на высоте  $\frac{2}{3}\ell$  от поверхности.

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 коснется горизонтальной поверхности, равна  $v = \sqrt{2g\ell}$ .

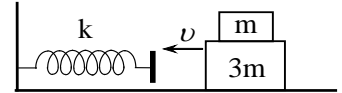
Величина перемещения нижнего шарика к этому моменту времени равна  $\Delta r = \frac{2}{3}\ell$ .

Ответ:  $\boxed{v = \sqrt{2g\ell}}$ ,  $\boxed{\Delta r = \frac{2}{3}\ell}$ .

#### Задача 4.

**Решение:** При сжатии пружины максимальное ускорение

брусков  $a = v \cdot \omega$  (1), где  $\omega = \sqrt{\frac{k}{3m+m}} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{k}{m}}$  - циклическая частота



колебательной системы.

Максимальная величина силы трения покоя, действующей на верхний брусок,

$F_{тр} = \mu mg$  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

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

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

#### Задача 5.

**Решение:**

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

$c_v(v_1 + v_2)T = c_v v_1 T_1 + c_v v_2 T_2$ , где  $T$  - температура газа, которая установится в

баллоне после открытия клапана. Выразим из этого равенства  $T = \frac{v_1 T_1 + v_2 T_2}{v_1 + v_2}$  (1),

Здесь  $v_1$  и  $v_2$  находим, используя уравнение состояния идеального газа  $v_1 = \frac{p_1 V_1}{RT_1}$

и  $v_2 = \frac{p_2 V_2}{RT_2}$ . Подставляя эти выражения в (1), получим  $T = \frac{(p_1 V_1 + p_2 V_2) \cdot T_1 T_2}{p_1 V_1 T_2 + p_2 V_2 T_1}$ .

Подставив числовые значения, найдём

$$T = \frac{(8 \cdot 10^5 \cdot 10^{-3} + 4 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-3}) \cdot 300 \cdot 600}{8 \cdot 10^5 \cdot 10^{-3} \cdot 600 + 4 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 300} = \frac{(8 \cdot 10^2 + 8 \cdot 10^2) \cdot 18 \cdot 10^4}{48 \cdot 10^4 + 24 \cdot 10^4} = \frac{288 \cdot 10^2}{72} = 400K \text{ Ответ:}$$

$$T = \frac{(p_1 V_1 + p_2 V_2) \cdot T_1 T_2}{p_1 V_1 T_2 + p_2 V_2 T_1} = 400K .$$

### Задача 6.

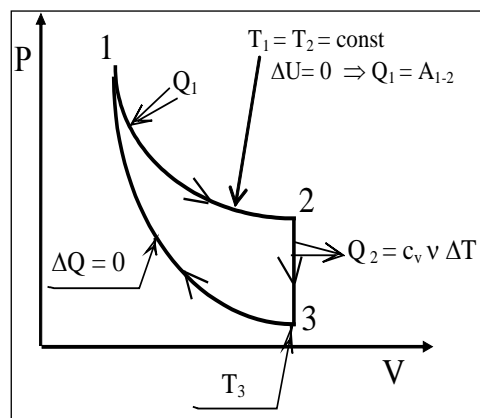
**Решение:** Минимальная температура газа  $T_3$ , максимальная  $T_1$  ( $T_1 = T_2$ ). КПД по определению равен

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

Тепло в цикле отводится только в изохорном

процессе 2-3.  $|Q_2| = \nu c_v \Delta T = \nu \frac{3}{2} R(T_2 - T_3) = \nu \frac{3}{2} R \Delta T > 0$

В данном процессе теплота за цикл подводится только на участке 1-2 и её количество  $Q_1$  равно работе газа на изотерме  $A_{12}$ .



Тогда  $\eta = 1 - \frac{\nu \frac{3}{2} R \Delta T}{A_{1-2}}$  откуда  $A_{1-2} = \frac{3}{2} \cdot \frac{\nu R \Delta T}{(1 - \eta)}$ , Подставив  $\nu = 1$ ,  $\Delta T = 600$ ,  $\eta = 0,26$ ,

получим.

$$A_{1-2} = \frac{3}{2} \cdot \frac{8,31 \cdot 600}{(1 - 0,26)} = \frac{7479}{0,74} \approx 10107 \text{ Дж} .$$

Количество теплоты, подводимое к машине за один цикл, равно  $Q_1 = A_{1-2} = 10107 \text{ Дж}$

**Ответ:**  $Q_1 = A_{1-2} = \frac{3}{2} \cdot \frac{\nu R \Delta T}{(1 - \eta)} \approx 10100 \text{ Дж}$

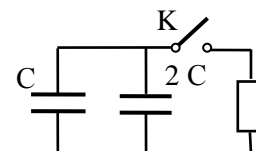
### Задача 7.

**Решение:**

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

2) Т.к.  $Q = \frac{C_{\text{БАТ}} U^2}{2}$ , где  $C_{\text{БАТ}} = C + 2C = 3C$ , то  $Q = \frac{3C \cdot Fd}{2C} = \frac{3}{2} Fd$ .

**Ответ:**  $Q = \frac{3}{2} Fd$ .



### Задача 8.

**Решение:** По закону Ома для замкнутого

контура  $I_o = \frac{E}{R_\Sigma}$ , где  $R_\Sigma = \frac{R}{2} + \frac{2R}{3} = \frac{7}{6}R$  и  $I_o = \frac{6E}{7R}$

(1).

Воспользуемся уравнением Кирхгофа

для узла с:

$$I_o = I_1 + I_2 \quad (2) \quad \text{для контура } abca: \quad I_1 R - I_2 R = 0$$

(3). Из (2) и (3) получим  $I_1 = I_2 = \frac{I_o}{2}$  (4)

для узла d:

$$I_o = I_3 + I_4 \quad (5) \quad \text{для контура } adba: \quad I_3 R - I_4 2R = 0 \quad (6). \quad \text{Из (5) и (6) получим } I_3 = \frac{2}{3} I_o$$

$$I_4 = \frac{1}{3} I_o \quad (7)$$

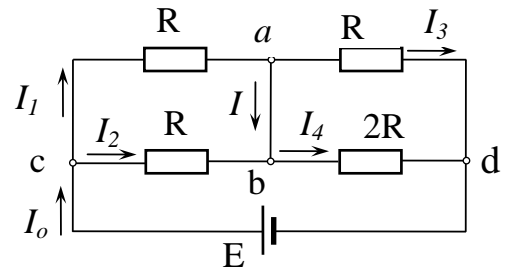
для узла a:

$$I_1 = I + I_3, \quad \text{где } I = I_1 - I_3 \quad (8)$$

Подставляя найденные значения токов (1), (4) и (7), найдём  $I = \frac{I_o}{2} - \frac{2}{3} I_o = -\frac{I_o}{6} = -\frac{E}{7R}$ .

Знак минус означает, что ток течёт от точки b к точке a.

**Ответ:**  $I = \frac{E}{7R}$ . Ток течёт от точки b к точке a.



### Задача 9.

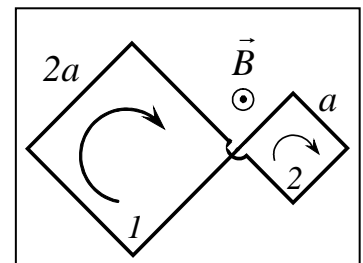
**Решение:**

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

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

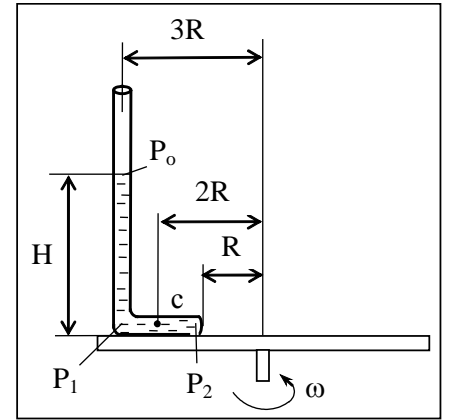
$$q = \frac{S_1 - S_2}{R} 2B = \frac{(2a)^2 - a^2}{R} \cdot 2B = \frac{6a^2 B}{R} \cdot \boxed{q = \frac{6a^2 B}{R}}$$

**Ответ:**  $q = \frac{6a^2 B}{R}$



**Задача 10.**

**Решение:** Давление ртути в месте изгиба трубки  $p_1 = p_o + \rho gH$ . Для ртути в вертикальном колене проекция ускорения на вертикальное направление равна нулю. Центр масс ртути в горизонтальном колене (точка С) находится на расстоянии  $2R$  от оси вращения и имеет центростремительное ускорение  $a = \omega^2 \cdot 2R$ . Масса ртути в горизонтальном колене  $m = 2RS\rho$ , где  $S$  – площадь поперечного сечения трубки.



Запишем второй закон Ньютона для этой массы ртути:  $ma = p_1S - p_2S$  или  $\rho S 2R \cdot \omega^2 2R = (p_1 - p_2)S$ . Подставив в это уравнение выражения для  $p_1$ , находим

$$p_2 = p_1 - 4\rho\omega^2 R^2 = p_o + \rho gH - 4\rho\omega^2 R^2.$$

**Ответ:**  $p_2 = p_o + \rho gH - 4\rho\omega^2 R^2$