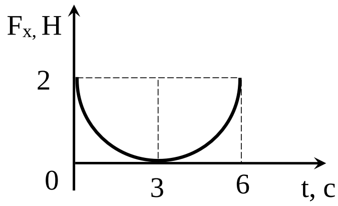
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Э. БАУМАНА
ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ–2021-2022»
ПО ПРОФИЛЮ «ФИЗИКА»
11 КЛАСС

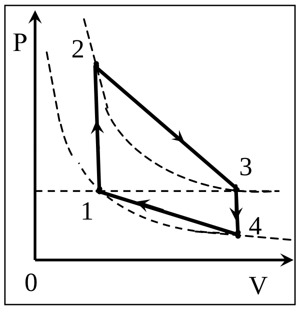
ВАРИАНТ № 5.

З А Д А Ч А 1. (10 баллов)



Тело массы m = 215 г лежит неподвижно на гладкой горизонтальной поверхности. В момент времени t = 0 на него начинает действовать горизонтальная сила $F_x(t)$, график которой представляет собой полуокружность. Двигаясь со скоростью ϑ_x, вызванной действием силы, тело въезжает на шероховатую часть горизонтальной поверхности с коэффициентом трения $\mu = 0{,}1$. Максимальное значение силы F_x max = 2 Н, Время действия силы $\Delta t = 6\ c$. Найдите время скольжения тела по шероховатой поверхности до его остановки. Ускорение свободного падения принять равным g = 10 м /с^2.

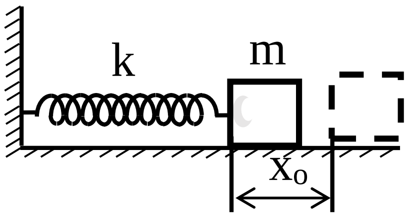
З А Д А Ч А 2. (10 баллов)



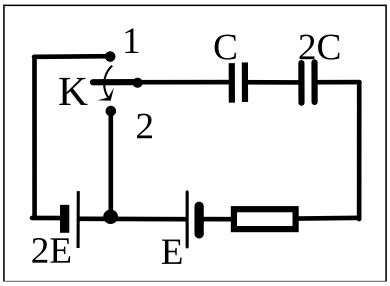
С тремя молями идеального газа проводится циклический процесс, состоящий из двух изохор 1-2 и 3-4 и двух процессов 2-3 и 4-1 с линейной зависимостью давления от объёма. Температура газа в состояниях 1 и 4 равна T, в состояниях 2 и 3 равна 2T. Найдите работу, совершаемую газом в цикле 1-2-3-4-1, если давления в состояниях 1 и 3 равны.

З А Д А Ч А 3. (12 баллов)

На горизонтальной плоскости с коэффициентом трения μ лежит брусок массы m, соединенный горизонтальной недеформированной невесомой пружиной жёсткости k с вертикальной стенкой. Брусок сместили так, что пружина растянулась на x_0, а затем отпустили. Определите число колебаний N, которое совершит брусок до остановки.



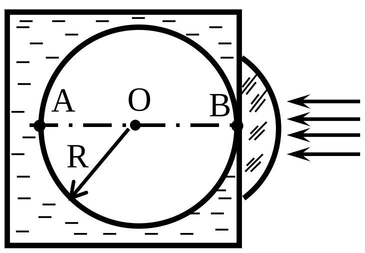
З А Д А Ч А 4. (12 баллов)



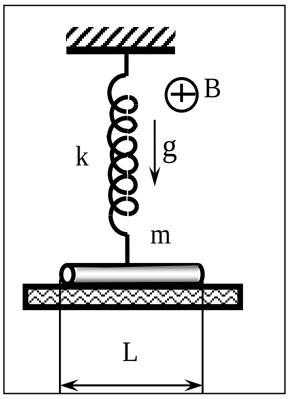
Найдите количество теплоты Q, которое выделится в цепи при переключении ключа K из положения 1 в положение 2. Параметры элементов цепи, изображённых на рисунке, считать известными.

З А Д А Ч А 5. (18 баллов)

В жидкости с показателем преломления n =1,5 на воздушный пузырёк, расположенный у плоской поверхности тонкой прозрачной стенки сосуда, вдоль диаметра AB пузырька падает параллельный пучок света. Диаметр пучка много меньше радиуса пузырька. Если вплотную к стенке приставить линзу с фокусным расстоянием F_1 = 2 см, то фокусировка света, вошедшего в пузырёк, произойдёт в центре пузырька O. Найдите фокусное расстояние линзы, которую надо поставить взамен первой линзы, чтобы свет сфокусировался в точке A?



З А Д А Ч А 6. (18 баллов)



Однородный проводящий стержень длины L и массы m подвешен на пружине жёсткости k и лежит на горизонтальной платформе. В начальный момент пружина не деформирована. Система находится в однородном магнитном поле с индукцией B, линии которой расположены в горизонтальной плоскости перпендикулярно оси стержня., Платформу начинают опускать с ускорением a (a < g). Определите максимальное значение разности потенциалов, возникающей между концами стержня.

Задача 7 - Ситуационная задача

Устройство для развлекательных полетов представляет собой ранец с двумя управляемыми соплами круглого сечения, через которые с высокой скоростью выбрасывается вода, подающаяся по шлангу с плавучего насоса, следующего за пилотом посредством данного шланга.

Определите массовый расход воды (в кг/с), если взлетная масса (пилот+ранец+шланг с водой) составляет 150 кг, а скорость истечения воды 100 м/с. Определите диаметр сопла для выброса воды.

Возможное решение

1. Истекающая струя воды передаёт описанной системе импульс:

$$M_{\text{в}}V_{\text{в}} = P$$

Где $M_{\text{в}}$ – масса воды, которая вылетела из ранца, $V_{\text{в}}$ – её скорость

Разделим обе части уравнения на время, за которое эта вода вылетала из ранца:

$$\frac{M_{\text{в}}V_{\text{в}}}{t} = \frac{P}{t}$$

Исходя из уравнения для импульса силы ($P = Ft$), мы можем сказать, что с правой стороны от знака равенства стоит сила тяги ранца. Поскольку пилот находится в равновесии, то эта сила тяги равна силе тяжести, действующей на него:

$$\frac{M_{\text{в}}V_{\text{в}}}{t} = F$$

$$F = F_{\text{тяж}} = M_{\text{п}}g$$

С левой стороны от знака равенства: масса вылетающей воды, отнесённая к промежутку времени, за который эта вода вылетает – есть искомый секундный массовый расход:

$$\frac{M_{\text{в}}}{t} = \dot{m}$$

Таким образом, преобразованное первоначальное уравнение имеет вид:

$$\dot{m}V_{\text{в}} = M_{\text{п}}g$$

Откуда расход воды равен:

$$\dot{m} = \frac{M_{\text{п}}g}{V_{\text{в}}}$$

$$\dot{m} = \frac{150 \cdot 9.81}{100} = 14.715\ \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Определим площадь сопел ранца:

Пусть сопло имеет некую площадь S, тогда сечение струи воды, равное площади сопла, за единицу времени перемещается на расстояние, численно равное скорости струи. Таким образом, объём, «заметаемый» сечением струи в единицу времени можно записать следующим образом:

$$\dot{V} = SV_{\text{в}}$$

Домножим обе части этого выражения на плотность воды:

$$\rho \dot{V} = S V_в \rho$$

Очевидно, что с левой стороны стоит массовый расход, найденный чуть ранее. Однако этот массовый расход воды идёт через два сопла, поэтому чтобы найти площадь одного сопла, разделим массовый расход на два, или увеличим правую часть уравнения в два раза:

$$\frac{\dot{m}}{2} = S V_в \rho$$

Откуда площадь сопла:

$$S_1 = \frac{\dot{m}}{2 V_в \rho} = \frac{14.715}{2 \cdot 100 \cdot 1000} = 7.357 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

Поскольку площадь круга, это:

$$S_1 = \frac{\pi d^2}{4}$$

то легко находим диаметр сопла:

$$d = \sqrt{\frac{4 S_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 7.357 \cdot 10^{-5}}{\pi}} = 9.679 \cdot 10^{-3} \text{м} \approx 10 \text{ мм}$$

Ответ: $\dot{m} = \frac{150 \cdot 9.81}{100} = 14.715 \ \frac{\text{кг}}{\text{с}}$; $d \approx 10$ мм

Пояснения и критерии для членов экспертной комиссии по проверке ситуационной задачи

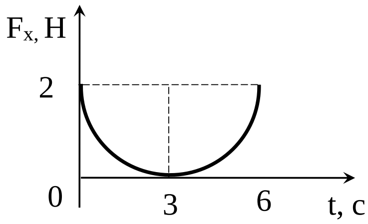
1. Членам экспертной комиссии предоставляется один из возможных вариантов решения экзаменационных задач. Решение школьника может отличаться от авторского варианта решения, предоставленного комиссии.
2. Корректная проверка решения не может быть осуществлена только по ответам. Основным критерием правильности решения является верное использование физических законов и разумный учёт технических параметров, характеристик и ограничений.

	Верные элементы решения	Количество баллов
1	Сформулирована расчётная схема (в том числе, графически), выделены и правильно формализованы все необходимые физические законы	0-5
2	Составлена система уравнений и математическая модель	0-5
3	Верно учтены технические параметры, характеристики и ограничения	0-5
4	Проведены расчеты, получен верный ответ, разумный с точки зрения физического смысла	0-5
	Итого	max 20

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Э. БАУМАНА
ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ–2021-2022»
ПО ПРОФИЛЮ «ФИЗИКА»
11 КЛАСС
РЕШЕНИЕ ВАРИАНТА № 5.

З А Д А Ч А 1. (10 баллов)

Ответ: $\boxed{t = 12\ c}$.



1) Импульс силы, действующей на тело, равен площади под графиком:

$$\Delta P = \cdot\left(F_{\max}\cdot\Delta t - \cdot\frac{1}{2}\pi F_m\cdot\frac{\Delta t}{2}\right) = F_m\cdot\Delta t\left(1-\frac{\pi}{4}\right) = F_m\cdot\Delta t\cdot 0{,}215 =$$

$$= 2\cdot 6\cdot 0{,}215 = 12\cdot 0{,}215\frac{кг\cdot м}{с}.$$

2) Так как $\Delta P = m\cdot\Delta\upsilon$ и учитывая, что начальная скорость тела равна нулю, получаем, что скорость тела после окончания действия силы будет равна: $\upsilon = \cdot\frac{\Delta P}{m} = \frac{12\cdot 0{,}215}{0{,}215} = 12\ м./с$.

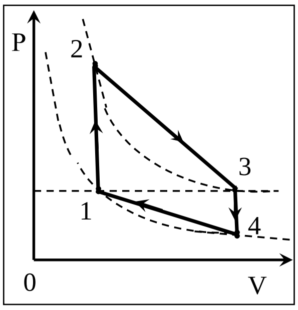
При движении по шероховатой поверхности $m\cdot\upsilon = F_{TP}\cdot t$, где $F_{TP} = \mu\cdot m\cdot g$.

Откуда время скольжения тела по шероховатой поверхности до его остановки будет равно

$$t = \frac{m\upsilon}{F_{TP}} = \frac{m\upsilon}{\mu mg} = \frac{\upsilon}{\mu g} = \frac{12}{0{,}1\cdot 10} = 12\ c.$$

З А Д А Ч А 2. (10 баллов)

Ответ: $\boxed{A = \frac{3}{4}\ \nu RT.}$



Так как $\frac{V_3}{V_1} = \frac{T_3}{T_1} = 2$, то $\frac{P_1}{P_4} = \frac{P_2}{P_3} = \frac{V_4}{V_1} = 2.$

Введём следующие обозначения:

$V_1 = V_2 = V;\quad V_3 = V_4 = 2V$.

$P_4 = P$, $P_1 = P_3 = 2P$, $P_2 = 4P$. Тогда $2PV = \nu RT$

и

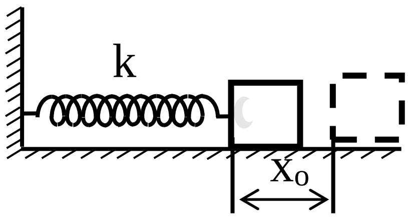
$A_{2-3} = \frac{1}{2}(P_2 + P_3)(V_3 - V_2) = \frac{1}{2}(4P + 2P)(2V - V) = 3PV = \frac{3}{2}\ \nu RT$).

$A_{1-4} = \frac{1}{2}(2P + P)V = \frac{3}{2}PV = \frac{3}{4}\ \nu RT,$ тогда работа, совершаемая газом в цикле, равна

$A = A_{23} - A_{14} = 3PV - \frac{3}{2}PV = \frac{3}{2}PV = \frac{3}{4}\ \nu RT \qquad A = \frac{3}{4}\ \nu RT$

З А Д А Ч А 3. (12 баллов)

Ответ: $\boxed{N = \frac{kx_0 - \mu mg}{4\mu mg}}$.



Пусть $x_{1/2}$ - смещение бруска влево при первом колебании.

Запишем закон сохранения энергии $\frac{kx_0{}^2}{2} = \frac{kx_{1/2}{}^2}{2} + \mu mg(x_0 + x_{\frac{1}{2}})$.

Отсюда $\frac{k(x_0{}^2 - x_{\frac{1}{2}}{}^2)}{2} = \mu mg(x_0 + x_{\frac{1}{2}})$;

$$\frac{k(x_0 - x_{\frac{1}{2}})(x_0 + x_{1/2})}{2(x_0 + x_{\frac{1}{2}})} = \mu mg \quad ; \quad \frac{k(x_0 - x_{\frac{1}{2}})}{2} = \mu mg$$ и

$$k(x_0 - x_{\frac{1}{2}}) = 2\mu mg \; ,$$ откуда $x_{\frac{1}{2}} = x_0 - \frac{2\mu mg}{k}$.

После одного полного колебания $x_1 = x_{\frac{1}{2}} - \frac{2\mu mg}{k} = x_0 - \frac{4\mu mg}{k}$.

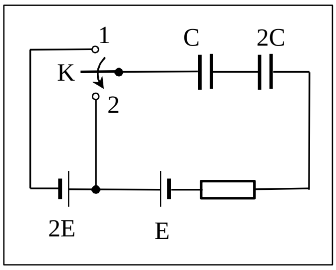
После N колебаний $x_N = x_0 - N\frac{4\mu mg}{k}$. Отсюда $N\frac{4\mu mg}{k} = x_0 - x_N$ $N = \frac{kx_0 - kx_N}{4\mu mg}$. Колебания прекратятся, когда $kx_N = \mu mg$.

Тогда $N = \frac{kx_0 - \mu mg}{4\mu mg}$.

З А Д А Ч А 4. (12 баллов)

Ответ**:** $\boxed{Q = qE = \frac{4}{3}CE^2}$

При переключении ключа через источник тока E протечет некоторый заряд q. Работа батареи равна Eq. Эта работа может частично пойти на увеличение энергии, запасенной в батарее конденсаторов, частично на выделение тепла в цепи. Как видно из рисунка, заряд и, следовательно, энергия, запасенная в батарее конденсаторов, не изменяются при переключении ключа. Меняются лишь знаки зарядов на обкладках. Следовательно, при переключении ключа K через источник тока протекает

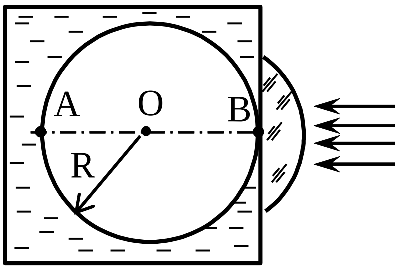


заряд $\boxed{q = 2C_{БАТ}E}$, где $\boxed{C_{БАТ} = \frac{2}{3}C}$ т.е. $\boxed{q = \frac{4}{3}CE}$

и в цепи выделилось количество тепла $\boxed{Q = qE = \frac{4}{3}CE^2}$.

З А Д А Ч А 5. (18 баллов)

Ответ: $\boxed{F_2 = \frac{2F_1 \cdot n}{2n-1} = 3см}$



Можно считать, что оптическая система в обоих случаях состоит из приставленной линзы и плоско-вогнутой « водяной» линзы.

Оптическая сила водяной» линзы равна $(n-1)\left(-\frac{1}{R}\right)$.

Оптическая сила системы равна сумме оптических сил. Поэтому

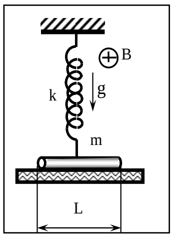
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{F_1} + (n-1)\left(-\frac{1}{R}\right) \; ; \quad (1) \qquad \frac{1}{2R} = \frac{1}{F_2} + (n-1)\left(-\frac{1}{R}\right); \qquad \frac{1}{F_2} = (n-1)\left(\frac{1}{R}\right) + \frac{1}{2R};$$

$$\frac{1}{F_2} = \frac{2(n-1)+1}{2R} \; ; \quad F_2 = \frac{2R}{2(n-1)+1} = \frac{2R}{2n-1} \quad (2)$$ Из (1) выразим $\frac{1}{F_1} = \frac{(n-1)}{R} + \frac{1}{R}$;

$\frac{1}{F_1} = \frac{n}{R}$, откуда $R = F_1 \cdot n$. Подставим в (2), получим $F_2 = \frac{2R}{2n-1} = \frac{2F_1\,n}{2n-1}$

Подставив числовые значения, найдём фокусное расстояние второй линзы $F_2 = \frac{2F_1 \cdot n}{2n-1} = 3см$

З А Д А Ч А 6. (18 баллов)



Ответ: $\boxed{U_{max} = \sqrt{\frac{m}{k}(2ag - a^2)} \cdot BL}$.

Второй закон Ньютона для стержня при движении платформы вниз с ускорением a : $mg - k\Delta x - N = ma$, где N- сила, действующая со стороны платформы на стержень. В момент отрыва стержня от платформы $N = 0$ и, следовательно, $mg - kx_0 = ma$, где x_0 -величина растяжения пружины в момент отрыва стержня.

$x_0 = \frac{m(g-a)}{k}$. Так как платформа движется с постоянным ускорением a, то $x_0 = \frac{a \cdot \tau^2}{2}$., где τ - время от начала движения платформы до момента отрыва стержня от неё Выражая из последнего равенства $\tau = \sqrt{\frac{2x_0}{a}}$, найдем скорость стержня в момент отрыва: $\vartheta_1 = a\tau = a\sqrt{\frac{2x_0}{a}} = \sqrt{2ax_0}$. (1) Для точки равновесия x_p: $mg = kx_p$, откуда $x_p = \frac{mg}{k}$. Поэтому $x_1 = x_p - x_0 = \frac{ma}{k}$. (2)

После отрыва от платформы стержень совершает гармонические колебания около точки равновесия, описываемые уравнениями:

$$x = A\sin(\omega t + \varphi) \quad \text{и} \quad \vartheta_x = A\omega\cos(\omega t + \varphi) \text{ , где } \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}.$$

Подставляя в эти уравнения значения координаты x_1 (2) и ϑ_1 (1),
где x_1- *смещение стержня от положения равновесия в момент отрыва,*
ϑ_1 - *скорость стержня в этот момент, получаем уравнение:*

$$\frac{x_1^2}{A^2} + \frac{\vartheta_1^2}{A^2\omega^2} = 1. \text{ Отсюда } A^2 = x_1^2 + \frac{\vartheta_1^2}{\omega^2} = \left(\frac{ma}{k}\right)^2 + \frac{2ax_0}{k}m.$$

Следовательно, $A = \frac{m}{k}\sqrt{a^2 + 2a(g-a)}$.

То есть амплитуда колебаний равна $A = \frac{m}{k}\sqrt{2ag - a^2}$.

При движении стержня в магнитном поле между его концами возникает разность потенциалов, максимальное значение которой равно

$$U_{max} = \vartheta_{max}BL = A\omega BL = \frac{m}{k} \cdot \sqrt{2ag - a^2} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot B \cdot L = \sqrt{\frac{m}{k}(2ag - a^2)} \cdot BL$$

$$U_{max} = \sqrt{\frac{m}{k}(2ag - a^2)} \cdot BL.$$