

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Э. БАУМАНА  
ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ТУР ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ–2019»  
«ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО: ПРОФЕССОР ЖУКОВСКИЙ»**

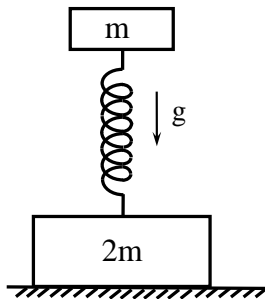
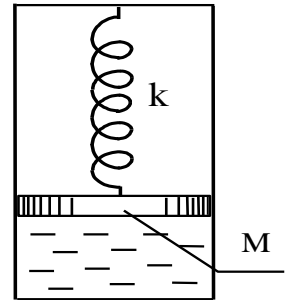
**ФИЗИКА ВАРИАНТ № 7**

**ЗАДАЧА 1.**

Рентгеновское излучение с длиной волны  $\lambda = 2,4 \cdot 10^{-10}$  м рассеивается на свободных электронах вещества. Определите частоту рассеянного рентгеновского излучения, если известно, что при рассеянии каждый фотон излучения передает электрону 20% своей энергии.

**ЗАДАЧА 2.**

Замкнутый, вертикально расположенный цилиндрический сосуд сечением  $S = 20 \text{ см}^2$ , разделён поршнем массы  $M = 5 \text{ кг}$  на две части. Нижняя часть цилиндра под поршнем целиком заполнена водой при начальной температуре  $t_0 = 0^\circ \text{C}$ , над поршнем – вакуум. Поршень связан с верхним основанием цилиндра пружиной жесткости  $k = 15 \text{ Н/м}$ . Вначале пружина не деформирована. Определите массу  $m$  пара под поршнем при нагревании воды до температуры  $t = 100^\circ \text{C}$ . Трением и массой пружины пренебречь.

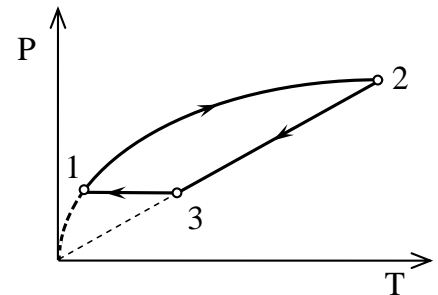


**ЗАДАЧА 3.**

Два тела массами  $m$  и  $2m$  соединены невесомой пружиной. Тело массы  $m$  совершает вертикальные гармонические колебания с амплитудой  $A$  и круговой частотой  $\omega$ . Определите наибольшее значение силы давления системы на горизонтальную плоскость.

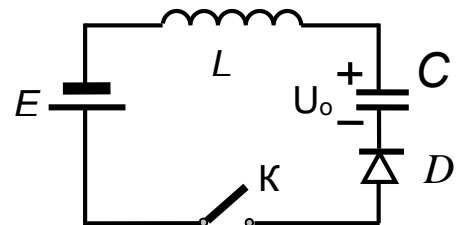
**ЗАДАЧА 4.**

Определите коэффициент полезного действия в циклическом процессе 1–2–3–1, изображенном на рисунке. Рабочее тело – одноатомный идеальный газ. На участке 1–2 давление газа меняется в зависимости от температуры по закону  $p = \alpha\sqrt{T}$ , где  $\alpha$ -постоянная. Процесс 3 – 1 изобарический. Отношение максимальной и минимальной температур в цикле  $n = 2$ .



**ЗАДАЧА 5.**

В схеме, изображённой на рисунке, при разомкнутом ключе  $K$  конденсатор ёмкости  $C = 40 \text{ мкФ}$  заряжен до напряжения  $U_0 = 5 \text{ В}$ . Индуктивность катушки  $L = 0,4 \text{ Гн}$ , ЭДС батареи  $E = 2 \text{ В}$ , диод  $D$  - идеальный. Определите максимальный ток в цепи после замыкания ключа  $K$ . Найдите напряжение, которое установится на конденсаторе после замыкания ключа.



**ЗАДАЧА 6.**

Космический корабль движется вокруг Земли по круговой орбите, радиус которой в 4 раза больше радиуса Земли. Какую минимальную дополнительную скорость в направлении от центра Земли следует сообщить кораблю, чтобы он мог преодолеть поле тяготения Земли? Значение первой космической скорости на Земле  $v_1 = 7,9 \text{ км/с}$  считать известным. Сопротивление атмосферы не учитывать.

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Э. БАУМАНА  
ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ТУР ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ-2019»  
«ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО: ПРОФЕССОР ЖУКОВСКИЙ»  
ФИЗИКА**

**РЕШЕНИЕ ВАРИАНТА № 7**

**ЗАДАЧА 1.**

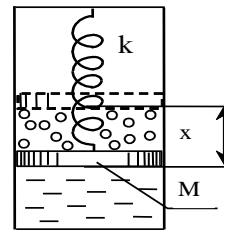
Ответ:  $\boxed{\nu' = \frac{0,8c}{\lambda} = 1 \cdot 10^{18} \text{ Гц}}$  .

Учитывая, что каждый фотон излучения при рассеянии передает электрону 20 % своей энергии, то оставшаяся энергия фотона составляет  $0,8h \cdot \nu$ . Тогда  $0,8 \frac{h \cdot c}{\lambda} = h \cdot \nu'$ , откуда частота рассеянного рентгеновского излучения  $\nu' = \frac{0,8c}{\lambda} = \frac{0,8 \cdot 3 \cdot 10^8}{2,4 \cdot 10^{-10}} = 1 \cdot 10^{18} \text{ Гц}$

**ЗАДАЧА 2.**

Ответ:  $\boxed{m = 11,7 \text{ г}}$ .

При температуре  $0^\circ \text{C}$  давление насыщенных паров воды пренебрежимо мало, и в исходном состоянии системы поршень лежит на поверхности воды – его вес компенсирован реакцией опоры воды. При нагревании до  $100^\circ \text{C}$  часть воды испарится, пружина сожмётся под действием силы давления насыщенного пара, равной  $p_H S$ . Смещение поршня определяет величину деформации пружины  $x$ . Запишем условие равновесия поршня в этом состоянии:



$$p_H S = Mg + kx, \quad \text{откуда} \quad x = \frac{p_H S - Mg}{k}.$$

Определить массу пара можно, исходя из уравнения состояния идеального газа (уравнения

Клапейрона-Менделеева)  $p_H S \cdot x = \frac{m}{\mu} RT$ , откуда  $m = \frac{p_H \mu S}{RT} \cdot x$ .

Учитывая, что давление насыщенного пара при температуре равно нормальному атмосферному давлению  $p_0$  (условие кипения воды) и что абсолютная термодинамическая температура воды  $T = t + 273$ , получим

$$m = \frac{p_0 \mu S}{R(t + 273)} \frac{(p_0 S - Mg)}{k} = 11,7 \text{ г}.$$

**ЗАДАЧА 3.**

Ответ:  $\boxed{N_{MAX} = m(3g + \omega^2 A)}$  .

В положении равновесия пружина сжата на  $\Delta \ell = \frac{m_1 g}{k}$ , где  $k$  - жёсткость пружины. Частота колебаний  $\omega = \sqrt{\frac{k}{m_1}}$ . Откуда  $k = m_1 \omega^2$ . В крайнем нижнем положении пружина сжата на

$(\Delta \ell + A)$  и упругая сила равна  $F = k(\Delta \ell + A) = m_1 g + kA$ ,  $F = m_1 g + m_1 \omega^2 A$ .

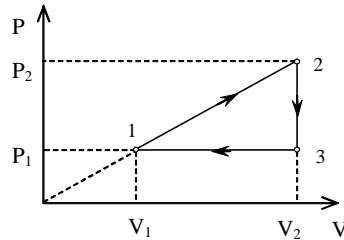
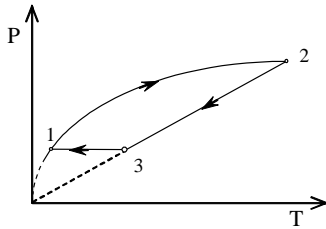
Максимальная сила давления на горизонтальную плоскость  $N_{MAX} = m_2 g + F$ .

$$N_{MAX} = m(3g + \omega^2 A).$$

**ЗАДАЧА 4.**

$$\text{Ответ: } \eta = \frac{A_{\text{полезн}}}{\Delta U_{1-2} + A_{1-2}} = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{n} - 1}{\sqrt{n} + 1} = 0,043$$

$$\text{КПД цикла } \eta = \frac{A_{\text{полезная}}}{Q_{\text{подведенное}}} = \frac{\frac{1}{2} \Delta P \Delta V}{Q_{1-2}}$$



$$A_{\text{полезн}} = \frac{1}{2} (P_2 - P_1)(V_2 - V_1) = \frac{R}{2} (\sqrt{T_2} - \sqrt{T_1})^2$$

$$Q_{1-2} = \Delta U_{1-2} + A_{1-2} \quad \Delta U_{1-2} = \frac{3}{2} R(T_2 - T_1)$$

$$A_{1-2} = \frac{1}{2} (P_2 - P_1)(V_2 - V_1) = \frac{1}{2} (P_2 + P_1)(P_2 - P_1) \frac{R}{\alpha^2} = \frac{R}{2\alpha^2} (P_2^2 - P_1^2) \frac{R}{2} \left( \frac{P_2^2}{\alpha^2} - \frac{P_1^2}{\alpha^2} \right) = \frac{R}{2} (T_2 - T_1)$$

$$Q_{1-2} = \frac{3}{2} R(T_2 - T_1) + \frac{R}{2} (T_2 - T_1) = 2R(T_2 - T_1)$$

$$\eta = \frac{1}{4} \frac{\sqrt{n} - 1}{\sqrt{n} + 1} = 0,043$$

**ЗАДАЧА 5.**

$$\text{Ответ: } I_{\text{max}} = (U_o + E) \sqrt{\frac{C}{L}} = 70 \text{ mA}$$

$$U = 2E + U_o = 2 \cdot 5 + 2 = 12 \text{ B},$$

Работа батареи  $A = qE = CE(E + U_o)$ .

Изменение энергии конденсатора  $\Delta W_C = \frac{CE^2}{2} - \frac{CU_o^2}{2} = \frac{C}{2} (E^2 - U^2)$ .

По закону сохранения энергии  $A = \Delta W_C + \frac{L \cdot I_{\text{max}}^2}{2}$ .

Отсюда с учётом выражений для  $A$  и  $\Delta W_C$  находим

$$I_{\text{max}} = (U_o + E) \sqrt{\frac{C}{L}} = 70 \text{ mA}.$$

**ЗАДАЧА 6.**

Ответ:  $\Delta v = \frac{v_1}{2} = 3,95 \cdot 10^3 \frac{M}{c}$ .

Первая космическая скорость на Земле:  $\frac{mv_1^2}{R_3} = G \frac{mM_3}{R_3^2}$ , откуда  $v_1 = \sqrt{G \frac{M_3}{R_3}}$ .

Скорость корабля на орбите находим из условия

$$\frac{mv_0^2}{R} = G \frac{mM_3}{R^2}, \quad \text{откуда} \quad v_0 = \sqrt{G \frac{M_3}{R}}. \quad \text{Так как} \quad R = 4R_3, \quad \text{то} \quad v_0 = \frac{1}{2} \sqrt{G \frac{M_3}{R_3}} = \frac{v_1}{2}.$$

Из закона сохранения энергии определим скорость, при достижении которой корабль на орбите радиуса  $R$  может преодолеть гравитационное притяжение Земли. Обозначим её через  $v_\infty$ .

Тогда  $\frac{mv_\infty^2}{2} - G \frac{mM_3}{R} = 0$ . Отсюда  $v_\infty = \sqrt{2G \frac{M_3}{R}} = \sqrt{2} \cdot v_0$ .

$$\Delta v = \sqrt{v_\infty^2 - v_0^2} = \sqrt{2v_0^2 - v_0^2} = v_0 = \frac{v_1}{2}; \quad \Delta v = \frac{v_1}{2} = 3,95 \cdot 10^3 \frac{M}{c}.$$