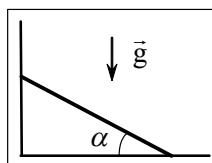
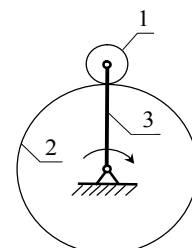


**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Э. БАУМАНА
ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП АКАДЕМИЧЕСКОГО СОРЕВНОВАНИЯ «ПРОФЕССОР ЖУКОВСКИЙ»
ОЛИМПИАДЫ «ШАГ В БУДУЩЕЕ» ПО КОМПЛЕКСУ ПРЕДМЕТОВ «ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ»
ВАРИАНТ № 15**

ЗАДАЧА 1.

В планетарной зубчатой передаче колесо 1 приводится в движение кривошипом 3, ось вращения которого совпадает с осью неподвижного колеса 2. Число зубьев колеса 1 $Z_1 = 18$, а колеса 2 – $Z_2 = 90$. Найдите число оборотов колеса 1 за время одного оборота кривошипа.



ЗАДАЧА 2.

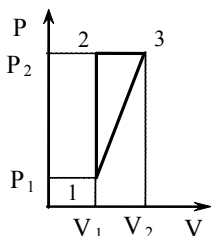
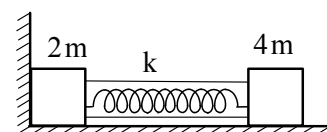
Однородный стержень опирается о вертикальную плоскость, образуя с горизонтальной плоскостью угол $\alpha = 30^\circ$. Коэффициент трения между стержнем и горизонтальной плоскостью $\mu_1 = 0,5$. Чему равна минимальная величина коэффициента трения μ_2 между стержнем и вертикальной плоскостью, при которой стержень будет находиться в равновесии?

ЗАДАЧА 3.

По трубопроводу, расположенному в горизонтальной плоскости и изогнутому под прямым углом, подаётся топливо, расход которого $Q = 10 \text{ дм}^3/\text{с}$. Площадь сечения трубы $S = 50 \text{ см}^2$. Плотность топлива $\rho = 0,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Определите величину минимальной горизонтальной составляющей силы, которую необходимо приложить к трубе, чтобы она была неподвижна.

ЗАДАЧА 4.

Два бруска, массы которых $2m$ и $4m$, соединены пружиной жёсткости k . Левый брусок упирается в стенку. Пружина сжата на величину Δx при помощи двух нитей, которые в некоторый момент пережигают. Определите скорость центра масс брусков при их дальнейшем движении после пережигания нитей. Силами трения и массой пружины пренебречь.



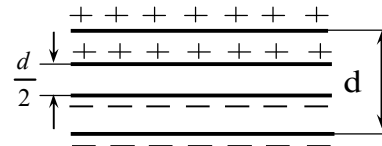
ЗАДАЧА 5.

В треугольном цикле 1-2-3-1 процесс 1-2 – изохорный, а 2-3 – изобарный. Найдите отношение максимального и минимального давлений p_{max}/p_{min} в цикле, если работа цикла является максимально возможной для заданных значений максимальной и минимальной

температур цикла T_{max} и T_{min} .

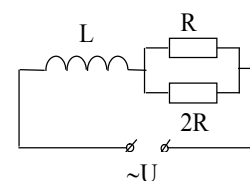
ЗАДАЧА 6.

Два плоских воздушных конденсатора с одинаковыми пластинами заряжены одинаковыми зарядами. Расстояние между пластинами у первого конденсатора вдвое больше, чем у второго. Разность потенциалов между пластинами первого конденсатора $U_0 = 10 \text{ В}$. Чему станет равна разность потенциалов U_1 между пластинами этого конденсатора, если второй конденсатор вставить в первый, как показано на рисунке



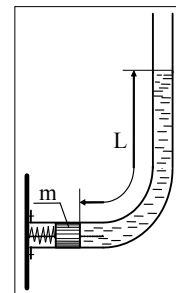
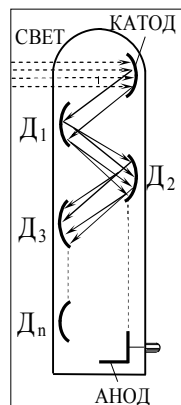
ЗАДАЧА 7.

Катушку индуктивности L , соединенную последовательно с резисторами, подключили к источнику переменного напряжения с амплитудным значением U_0 и круговой частотой ω . При каком значении сопротивления R резистора в цепи будет выделяться максимальная тепловая мощность?



ЗАДАЧА 8.

Излучение лазера с длиной волны $\lambda = 0,4 \text{ мкм}$ регистрируется с помощью фотоэлектронного умножителя (ФЭУ), в котором на катоде под воздействием света возникает фотоэлектронная эмиссия, и электроны, ускоренные электрическим полем, направляются на вторичные катоды-диноды (D_1, \dots, D_n), из которых выбивают вторичные электроны. Определите величину анодного тока ФЭУ с числом динодов $n = 5$, если мощность излучения лазера $P = 1,0 \text{ мВт}$, квантовый выход (т.е. отношение числа выбиваемых из катода электронов к числу фотонов, падающих на катод, $K_1 = 0,1$), а коэффициент вторичной эмиссии (увеличения количества вторичных электронов) каждого динода $K_2 = 5$.



ЗАДАЧА 9.

Система, состоящая из пружины, поршня и столба жидкости длины L , выведена из состояния покоя и затем совершает свободные малые колебания. Пренебрегая трением, определите период этих колебаний, если масса поршня равна m , площадь поперечного сечения трубы S , плотность жидкости ρ , жесткость пружины равна k .

ЗАДАЧА 10.

В камеру сгорания реактивного двигателя поступает в секунду масса m водорода и необходимое для полного сгорания количество кислорода. Площадь сечения выходного отверстия сопла двигателя S ,

давление в этом сечении p , абсолютная температура T . Определите силу тяги двигателя.

15-1

**ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП АКАДЕМИЧЕСКОГО СОРЕВНОВАНИЯ «ПРОФЕССОР Н.Е. ЖУКОВСКИЙ»
ОЛИМПИАДЫ «ШАГ В БУДУЩЕЕ» ПО КОМПЛЕКСУ ПРЕДМЕТОВ «ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ»
ФИЗИКА**

РЕШЕНИЕ ВАРИАНТА № 15

ЗАДАЧА 1. (8 баллов)

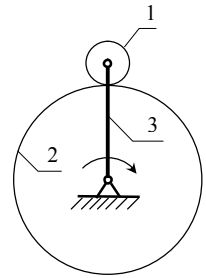
Ответ:
$$n = \left(\frac{z_2}{z_1} + 1 \right) \cdot k = 6$$

Угол поворота φ колеса 1 за время t $\varphi = \left(\frac{R}{r} + 1 \right) \omega \cdot t$, где ω - угловая

скорость кривошипа. Отношение $\frac{R}{r} = \frac{z_2}{z_1}$. Так как $\omega t = k \cdot 2\pi$, где k -

число оборотов кривошипа. По условию $k = 1$, тогда $\omega t = 1 \cdot 2\pi$, следовательно, число оборота колеса 1

$$n = \frac{\varphi}{2\pi} = \left(\frac{R}{r} + 1 \right) \cdot k = \left(\frac{z_2}{z_1} + 1 \right) \cdot k = \left(\frac{90}{18} + 1 \right) \cdot 1 = 6.$$



ЗАДАЧА 2. (8 баллов)

Ответ:
$$\mu_2 = 0,85$$

Пусть масса стержня равна m , а его длина равна ℓ .

Условия равновесия стержня: $\sum \vec{F}_i = 0$; $\sum M_i = 0$.

x : $N_2 = F_{TP1}$ (1)

y : $N_1 = mg - F_{TP2}$ (2), где

$F_{TP1} = \mu_1 \cdot N_1$ (3)

$F_{TP2} = \mu_2 N_2 = \mu_2 F_{TP1}$ (4)

Подставляя выражение для N_1 в (3) и (4), получим:

$$F_{TP1} = \frac{\mu_1}{1 + \mu_1 \mu_2} mg; \quad F_{TP2} = \frac{\mu_1 \cdot \mu_2}{1 + \mu_1 \mu_2} mg$$

Условие равенства нулю суммы моментов сил относительно точки В:

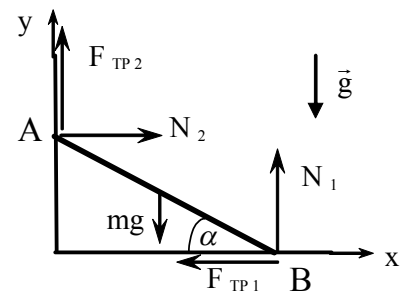
$$\frac{mg\ell}{2} \cos \alpha = F_{TP2} \ell \cos \alpha + N_2 \ell \sin \alpha$$

Подставляя в последнее равенство выражения для F_{TP2} и

$$N_2 = F_{TP1}, \text{ после преобразований получим: } \mu_2 = \frac{\cos \alpha - 2\mu_1 \sin \alpha}{\mu_1 \cos \alpha}$$

Подставляя $\alpha = 30^\circ$ и $\mu_1 = 0,5$,

получим $\mu_2 = 0,85$.



ЗАДАЧА 3. (10 баллов)

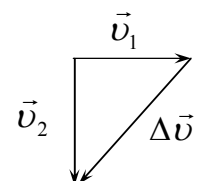
Ответ:
$$F = \frac{\rho Q^2 \sqrt{2}}{S} = 25 \text{ H}$$

По второму закону Ньютона $\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \vec{F}$; $\frac{\Delta m}{\Delta t} \Delta \vec{v} = \vec{F}$ (1),

где $\Delta m = \rho v S \Delta t$ - масса жидкости, протекающей через сечение трубы за время

Δt . Из рисунка видно, что $\Delta v = v\sqrt{2}$. Подставляя полученное выражение в (1), получим

$$F = \frac{\rho v S \Delta t v \sqrt{2}}{\Delta t} = \rho v^2 S \sqrt{2}.$$



Зная расход жидкости Q , можно найти скорость течения жидкости в трубе $v = \frac{Q}{S}$.

15-2

Окончательно получим $F = \rho \frac{Q^2}{S^2} S \sqrt{2} = \rho \frac{Q^2}{S} \sqrt{2}$. Подставляя числовые значения, получим

$$F = \frac{0,9 \cdot 10^3 \left(10 \cdot 10^{-3}\right)^2}{50 \cdot 10^{-4}} \sqrt{2} = 25 \text{ Н}.$$

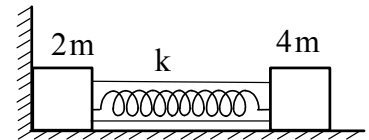
ЗАДАЧА 4. (10 баллов)

Ответ: $v_c = \frac{\Delta x}{3} \sqrt{\frac{k}{m}}$.

После пережигания нитей максимальная скорость бруска 4м :

$$v = \Delta x \cdot \omega = \Delta x \sqrt{\frac{k}{4m}} = \frac{\Delta x}{2} \sqrt{\frac{k}{m}}.$$

Скорость центра масс брусков $v_c = \frac{4m \cdot v}{2m + 4m} = \frac{4m \cdot \frac{\Delta x}{2} \sqrt{\frac{k}{m}}}{2m + 4m} = \frac{\Delta x}{3} \sqrt{\frac{k}{m}}$.



ЗАДАЧА 5. (10 баллов)

Ответ: $\frac{p_{MAX}}{p_{MIN}} = \sqrt{\frac{T_{MAX}}{T_{MIN}}}$.

Работа цикла:

$$A = \frac{1}{2} (p_2 - p_1) (V_2 - V_1) = \frac{1}{2} (p_2 V_2 - p_2 V_1 - p_1 V_2 + p_1 V_1)$$

Т.к. $p_2 V_2 = \nu R T_{MAX}$, $p_1 V_1 = \nu R T_{MIN}$, то $p_2 = \frac{\nu R T_{MAX}}{V_2}$ и

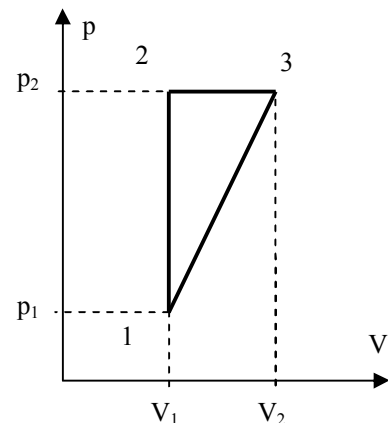
$$A = \frac{1}{2} \left(\nu R T_{MAX} - \frac{\nu R T_{MAX}}{V_2} V_1 - p_1 V_2 + \nu R T_{MIN} \right).$$

Поиск экстремума $\frac{dA}{dV_2} = 0$ приводит к соотношению $\frac{dA}{dV_2} = \frac{\nu R T_{MAX}}{V_2^2} V_1 - p_1 = 0$. С учетом $p_2 = \frac{\nu R T_{MAX}}{V_2}$

получаем равенство $\frac{dA}{dV_2} = p_2 \frac{V_1}{V_2} - p_1 = 0$, т.е. $\frac{p_2}{p_1} = \frac{V_2}{V_1}$ или $\frac{p_2}{V_2} = \frac{p_1}{V_1}$. Т.о. точки 1 и 3 лежат на одной

прямой $p = \alpha V$, т.е. $p_1 = \alpha V_1$, $p_2 = \alpha V_2$. Из $\frac{p_1^2}{\alpha} = \nu R T_{MIN}$ и $\frac{p_2^2}{\alpha} = \nu R T_{MAX}$ получаем

$$\frac{p_{MAX}}{p_{MIN}} = \sqrt{\frac{T_{MAX}}{T_{MIN}}}.$$

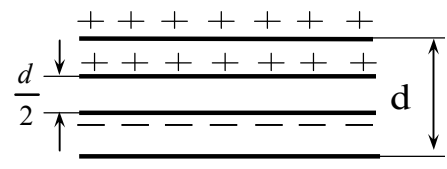


ЗАДАЧА 6. (10 баллов)

Ответ: $U_1 = 15 \text{ В}$.

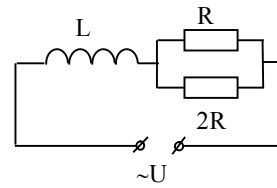
В силу принципа суперпозиции поле внутри малого конденсатора удвоится, а в оставшейся части большого конденсатора не изменится.

Разность потенциалов между пластинами первого конденсатора возрастет в 1,5 раза и станет равной $U_1 = 15 \text{ В}$.



ЗАДАЧА 7. (10 баллов)

Ответ: $R = \frac{3}{2} \omega \cdot L$.



1) Тепловая мощность, выделяющаяся в цепи переменного тока $P = I_D^2 R_{\Sigma}$, где $I_D = \frac{I_o}{\sqrt{2}}$ - действующее значение тока, а R_{Σ} - активное сопротивление цепи.

Следовательно, $P = \frac{U_o^2 R_{\Sigma}}{2(R_{\Sigma}^2 + \omega^2 L)}$.

Исследуя последнее выражение на экстремум, находим, что максимальная мощность в цепи выделяется при $R_{\Sigma} = \omega \cdot L$. Так как $R_{\Sigma} = \frac{2}{3} R$, то $R = \frac{3}{2} \omega \cdot L$.

ЗАДАЧА 8. (10 баллов)

Ответ: $I = N \cdot k_1 \cdot (k_2)^n \cdot e = 0,1 \text{ A}$

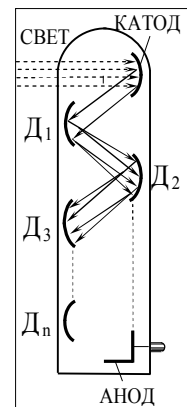
1) Число фотонов, излучаемых лазером в 1 секунду

$$N = \frac{P}{h\nu} = \frac{P\lambda}{hc};$$

2) Величина анодного тока $I = N \cdot k_1 \cdot (k_2)^n \cdot e = \frac{e \cdot P \cdot \lambda \cdot k_1 \cdot (k_2)^n}{hc}$.

Подставив числовые значения, получим

$$I = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 10^{-7} \cdot 10^{-1} \cdot 5^5}{6,625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8} = 0,322 \cdot 10^{-4} \cdot 3,125 \cdot 10^3 \approx 0,1 \text{ A}$$



ЗАДАЧА 9. (12 баллов)

Ответ: $T = 2\pi \sqrt{\frac{m + \rho SL}{k + \rho gS}}$.

Масса колебательной системы (поршень и водяной столб) равна $m + \rho SL$.

«Жесткость» колебательной системы $k_{\text{сист}} = k + k_1$. Где $k_1 = \frac{\rho g S x}{x}$ - изменение усилия на поршень, отнесенное к единице перемещения столба жидкости, являющееся следствием изменения силы давления при колебаниях.

x - смещение уровня жидкости в трубе от положения равновесия, равное смещению поршня.

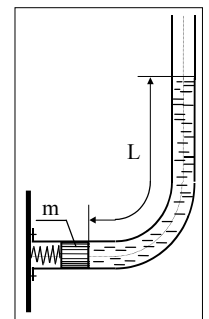
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m + \rho SL}{k + \rho gS}}$$

Период колебаний поршня равен

ЗАДАЧА 10. (12 баллов)

Ответ: $F = \frac{81m^2 RT}{pSM_{II}}$.

Из уравнения реакции горения водорода $2H_2 + O_2 = 2H_2O$ видно, что две молекулы водяного пара получаются при соединении двух молекул водорода и одной молекулы кислорода. Следовательно, для сгорания



одного киломоля водорода необходима половина киломоля кислорода и в результате реакции получается один киломоль воды.

15-4

При сгорании $\nu = \frac{m}{\mu_B}$ молей водорода получится столько же молей водяного пара (где $\mu_B = 2 \cdot 10^{-3}$ кг / моль). Поэтому при сгорании массы m водорода получается масса

$$m_1 = \nu \mu_{\Pi} = \frac{18}{2} m = 9m \text{ водяного пара (где } \mu_{\Pi} = 18 \cdot 10^{-3} \text{ кг / моль), вылетающая из сопла двигателя за 1}$$

с. Так как площадь выходного сопла двигателя известна, можно найти скорость \vec{v} газа, выходящего из сопла. Объём пара, выбрасываемого из сопла двигателя за 1 с равен $V = \nu \cdot S$. Масса этого объёма пара равна $m_1 = \rho \nu S$, где ρ -плотность пара. Отсюда $\nu = \frac{m_1}{\rho S} = \frac{9m}{\rho S}$.

Из уравнения Клапейрона-Менделеева $pV = \frac{m_1}{\mu_{\Pi}} RT$ или $p \nu S = \frac{m_1}{\mu_{\Pi}} RT$; $p \frac{m_1}{\rho S} S = \frac{m_1}{\mu_{\Pi}} RT$;

$\rho \mu_{\Pi} = \rho RT$; откуда $\rho = \frac{p \mu_{\Pi}}{RT}$. За время Δt из сопла ракеты выбрасывается масса пара $m_i \Delta t$ с

импульсом $m_i \Delta t \cdot \vec{v}$, тогда на газ действует сила $\vec{F}_i = \frac{m_i \Delta t \cdot \vec{v}}{\Delta t} = m_i \cdot \vec{v}$. Такая же по модулю сила, но направленная в противоположную сторону, действует на двигатель. Полная сила, действующая на двигатель (сила тяги двигателя), равна сумме реактивной силы -- \vec{F}_i и силы статического давления $F_2 = pS$, т.е.

$F = m_1 \nu + p \cdot S \approx \rho \nu^2 S = \frac{81 m^2 RT}{p S \mu_{\Pi}}$. Так как давление газа, выходящего из сопла, мало, то второй член в

выражении для силы тяги мал и при расчётах им можно пренебречь. $F = \frac{81 m^2 RT}{p S \mu_{\Pi}}$.