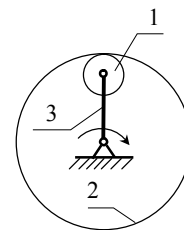


**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Э. БАУМАНА
ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП АКАДЕМИЧЕСКОГО СОРЕВНОВАНИЯ «ПРОФЕССОР ЖУКОВСКИЙ»
ОЛИМПИАДЫ «ШАГ В БУДУЩЕЕ» ПО КОМПЛЕКСУ ПРЕДМЕТОВ «ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ»
ВАРИАНТ № 17**

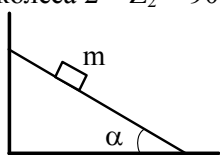
ЗАДАЧА 1.

В планетарной зубчатой передаче колесо 1 приводится в движение кривошипом 3, ось вращения которого совпадает с осью неподвижного колеса 2. Число зубьев колеса 1 $Z_1 = 15$, а колеса 2 – $Z_2 = 90$. Найдите число оборотов колеса 1 за время двух оборотов кривошипа.



ЗАДАЧА 2.

Определите силу, действующую на вертикальную стенку со стороны клина, если по нему скользит груз массы $m = 2$ кг. Угол при основании клина равен $\alpha = 30^\circ$. Коэффициент трения между грузом и поверхностью клина равен $\mu = 0,2$. Трение между горизонтальной поверхностью и клином отсутствует. Принять ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

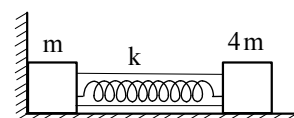


ЗАДАЧА 3.

По трубопроводу, расположенному в горизонтальной плоскости и изогнутому под прямым углом, подаётся топливо, расход которого $Q = 10$ дм³/с. Площадь сечения трубы $S = 100$ см². Плотность топлива $\rho = 0,9 \cdot 10^3$ кг/м³. Определите величину минимальной горизонтальной составляющей силы, которую необходимо приложить к трубе, чтобы она была неподвижна.

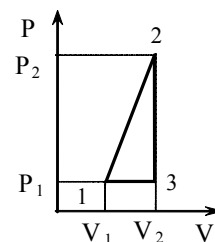
ЗАДАЧА 4.

Два бруска, массы которых m 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.

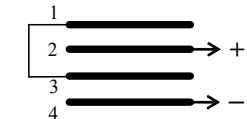


ЗАДАЧА 5.

В треугольном цикле 1-2-3-1 процесс 2-3 – изохорный, а 3-1 – 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}

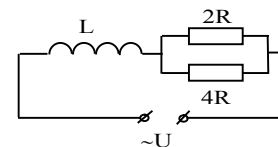


ЗАДАЧА 6.

Четыре одинаковые металлические пластины расположены в воздухе на равных расстояниях d друг от друга. Площадь каждой из пластин равна S . Пластина 1 соединена проводником с пластиной 3, а от пластин 2 и 4 сделаны выводы. Определите ёмкость такого сложного конденсатора. Расстояние d между пластинами мало по сравнению с их размерами.

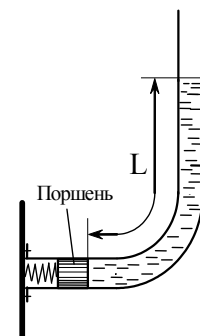
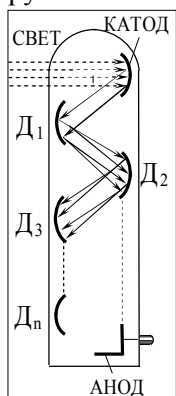
ЗАДАЧА 7.

Катушку индуктивности L , соединённую 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 $\lambda = 0,5$ 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 $n = 6$, если мощность излучения лазера $P = 0,1$ 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 $K_2 = 4$.



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 циклическую частоту ω этих колебаний, если масса поршня равна m , площадь поперечного сечения трубы S , плотность жидкости ρ , жёсткость 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 равна S ,

давление в этом сечении равно p . Определите абсолютную температуру T продуктов сгорания в сечении S , если сила тяги двигателя равна F .

17-1

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

ФИЗИКА

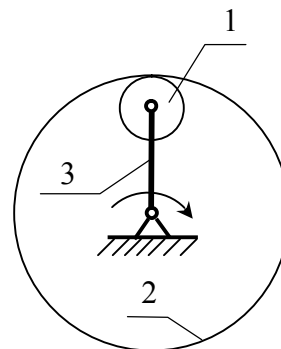
РЕШЕНИЕ ВАРИАНТА № 17

ЗАДАЧА 1. (8 баллов)

Ответ: $n = \left(\frac{z_2}{z_1} - 1 \right) \cdot k = 10$.

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 $k = 2$, тогда $\omega t = 2 \cdot 2\pi$, следовательно, число оборота колеса 1

$$n = \frac{\varphi}{2\pi} = \left(\frac{R}{r} - 1 \right) \cdot k = \left(\frac{z_2}{z_1} - 1 \right) \cdot k = \left(\frac{90}{15} - 1 \right) \cdot 2 = 10.$$



ЗАДАЧА 2. (8 баллов)

Ответ: $F = mg \cos \alpha (\sin \alpha - \mu \cos \alpha) = 5,7 \text{ H}$

На клин со стороны бруска действует сила трения

$$F_{\text{тр}} = \mu mg \cdot \cos \alpha$$

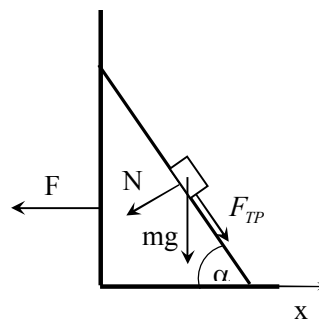
и сила нормального давления $N = mg \cdot \cos \alpha$.

Искомая сила F равна сумме проекций сил $F_{\text{тр}}$ и N на горизонтальную ось.

$$F = N \sin \alpha - F_{\text{тр}} \cos \alpha = mg \cos \alpha \cdot \sin \alpha - \mu mg \cdot \cos \alpha \cdot \cos \alpha = mg \cos \alpha (\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$$

$$F = mg \cos \alpha (\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$$

Подставив числовые значения: $m = 2 \text{ кг}$, $\alpha = 30^\circ$, $\mu = 0,2$, получим $F = 5,7 \text{ Н}$.



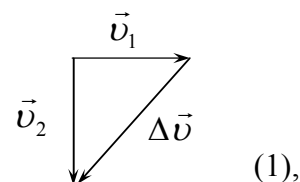
ЗАДАЧА 3. (10 баллов)

Ответ: $F = \frac{\rho Q^2 \sqrt{2}}{S} = 12,7 \text{ Н}$.

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

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



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

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

$$F = \frac{0,9 \cdot 10^3 \left(10 \cdot 10^{-3} \right)^2}{100 \cdot 10^{-4}} \sqrt{2} = 9 \cdot \sqrt{2} = 12,7 \text{ Н}.$$

ЗАДАЧА 4. (10 баллов)

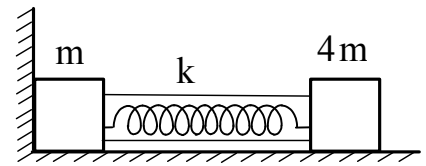
Ответ:
$$v_c = \frac{2 \cdot \Delta x}{5} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

После пережигания нитей максимальная скорость бруска 4m :

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

Скорость центра масс брусков

$$v_c = \frac{4m \cdot v}{m + 4m} = \frac{4m \cdot \frac{\Delta x}{2} \sqrt{\frac{k}{m}}}{m + 4m} = \frac{2\Delta x}{5} \sqrt{\frac{k}{m}}$$



ЗАДАЧА 5. (10 баллов)

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

Работа цикла

$$A = \frac{1}{2}(p_2 - p_1)(V_2 - V_1) = \frac{1}{2}(p_2V_2 - p_2V_1 - p_1V_2 + p_1V_1)$$

Т.к. $p_2V_2 = \nu RT_{MAX}$, $p_1V_1 = \nu RT_{MIN}$, то $p_2 = \frac{\nu RT_{MAX}}{V_2}$ и

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

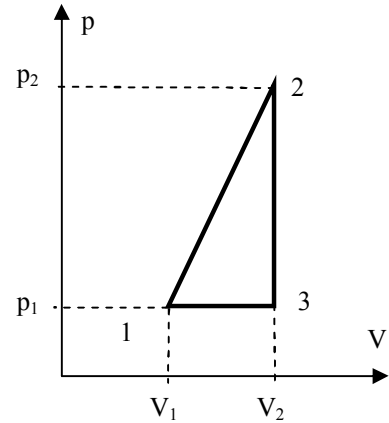
Поиск экстремума $\frac{dA}{dV_2} = 0$ приводит к соотношению

$$\frac{dA}{dV_2} = \frac{\nu RT_{MAX}}{V_2^2} V_1 - p_1 = 0$$

С учетом $p_2 = \frac{\nu RT_{MAX}}{V_2}$ 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 2 лежат на одной прямой $p = \alpha V$, т.е. $p_1 = \alpha V_1$, $p_2 = \alpha V_2$. Из $\frac{p_1^2}{\alpha} = \nu RT_{MIN}$

и $\frac{p_2^2}{\alpha} = \nu RT_{MAX}$ получаем $\frac{p_{MAX}}{p_{MIN}} = \sqrt{\frac{T_{MAX}}{T_{MIN}}}$



ЗАДАЧА 6. (10 баллов)

Ответ:
$$C_o = \frac{2 \epsilon_0 S}{3 d}$$

Образовавшийся сложный конденсатор (рис.1) можно рассматривать как батарею из трех конденсаторов одинаковой емкости $C_o = \frac{\epsilon_0 S}{d}$: конденсатор I (пластины 2 и 3), конденсатор II

(пластины 1 и 2) и конденсатор III (пластины 3 и 4). Конденсаторы I и II соединены параллельно: пластины 1 и 3 имеют равные потенциалы (т.к. они соединены проводником), а пластина 2 у них общая; конденсатор III присоединен к этой паре последовательно. По эквивалентной схеме соединения (рис. 2) находим ёмкость сложного конденсатора

$$C_o = \frac{1}{\frac{1}{2C_o} + \frac{1}{C_o}} = \frac{2}{3} C_o = \frac{2 \epsilon_0 S}{3 d}$$

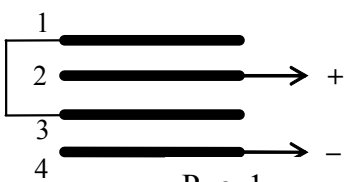


Рис. 1

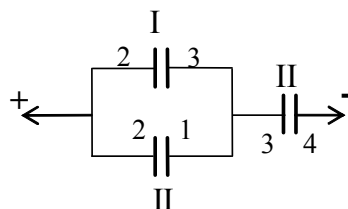


Рис. 2

ЗАДАЧА 7. (10 баллов)

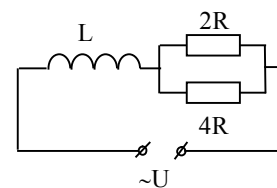
Ответ: $R = \frac{3}{4} \omega \cdot L$.

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

Исследуя последнее выражение на экстремум, находим, что максимальная мощность в цепи выделяется при $R_{\Sigma} = \omega \cdot L$. Так как $R_{\Sigma} = \frac{4}{3}R$, то $R = \frac{3}{4} \omega \cdot L$.

**ЗАДАЧА 8.** (10 баллов)

Ответ: $I = N \cdot k_1 \cdot (k_2)^n \cdot e = 16 \text{ мА}$

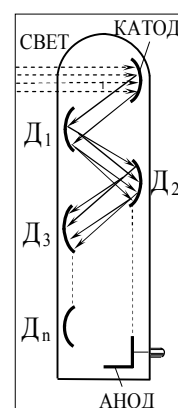
1) Число фотонов, излучаемых лазером в 1 секунду

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

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

$$I = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{-4} \cdot 5 \cdot 10^{-7} \cdot 10^{-1}}{6,625 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8} 4^6 = 0,403 \cdot 10^{-5} \cdot 4,096 \cdot 10^3 = 1,6 \cdot 10^{-2} \approx 0,016 \text{ А} \approx 16 \text{ мА}$$

**ЗАДАЧА 9.** (12 баллов)

Ответ: $\omega = \sqrt{\frac{k + \rho g S}{m + \rho S L}}$.

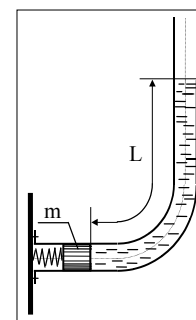
Масса колебательной системы (поршень и водяной столб) равна $m + \rho S L$.

«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.

Период колебаний поршня равен $T = 2\pi \sqrt{\frac{m + \rho S L}{k + \rho g S}}$. Тогда $\omega = \sqrt{\frac{k + \rho g S}{m + \rho S L}}$.

**ЗАДАЧА 10.** (12 баллов)

Ответ: $T = \frac{F p S \mu_{\text{II}}}{81 m^2 R}$.

При сгорании в одну секунду массы m водорода получается масса $m_1 = \nu \mu_{\text{II}} = \frac{18}{2} m = 9m$ водяного пара. Если площадь сечения выходного отверстия сопла двигателя равна S , а скорость газа,

выходящего из сопла v , то объём пара, выбрасываемого из сопла двигателя за 1 с, равен $V = v \cdot S$.

Масса этого объёма пара равна $m_1 = \rho v S$, где ρ -плотность пара. Отсюда $v = \frac{m_1}{\rho S} = \frac{9m}{\rho S}$.

17-4

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

$p \mu_{\Pi} = \rho RT$; откуда $\rho = \frac{p \mu_{\Pi}}{RT}$. За время Δt из сопла ракеты выбрасывается масса пара $m_1 \Delta t$

с импульсом $m_1 \Delta t \cdot v$, тогда на газ действует сила $F_1 = \frac{m_1 \Delta t \cdot v}{\Delta t} = m_1 \cdot v$. 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 -- F_1 и силы статического давления $F_2 = p \cdot S$, т.е.

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

выражении для силы тяги мал и при расчётах им можно пренебречь.. Из последней формулы

$F = \frac{81 m^2 RT}{p S \mu_{\Pi}}$ найдём абсолютную температуру T продуктов сгорания в сечении S :

$$T = \frac{F p S \mu_{\Pi}}{81 m^2 R}.$$