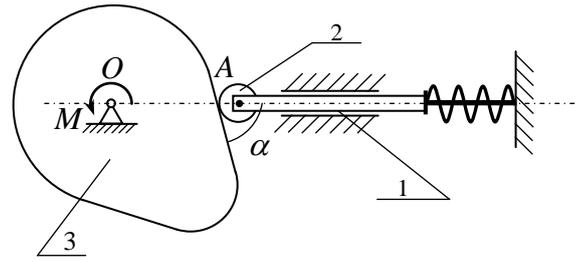
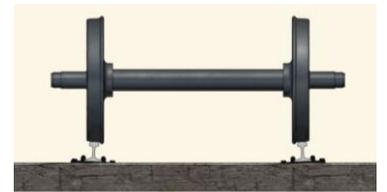


## Демонстрационное задание «Инженерной олимпиады школьников»

**1.** Кулачковый механизм служит для преобразования вращательного движения вала в возвратно-поступательное движение толкателя. Механизм состоит из равномерно вращающегося кулачка - вала, имеющего переменную кривизну или эксцентриситет - и подпружиненного толкателя, перемещающегося поступательно благодаря направляющему устройству (см. рисунок; здесь 1 – толкатель, 2 – ролик толкателя, 3 - эксцентрик или кулачок). В тот момент времени, когда угол между касательной к поверхности кулачка в точке касания толкателя и толкателем  $\alpha = 60^\circ$ , на кулачок действует внешний вращательный момент  $M = 0,8 \text{ кН}\cdot\text{м}$ . Для данного положения механизма определить силу давления кулачка на толкатель, если длина отрезка  $OA$  в данном положении  $OA = l = 30 \text{ мм}$ . Весом частей механизма, а также трением во всех элементах механизма пренебречь.



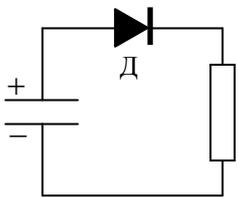
**2.** Известно, что железнодорожные рельсы делают несколько выпуклыми, а колеса – коническими, причем их внутренний диаметр больше внешнего (см. рисунок и фото). Попробуйте объяснить, зачем это делается. Учитывайте, что каждая пара колес поезда насажена на одну и ту же ось (так называемая «колесная пара»).



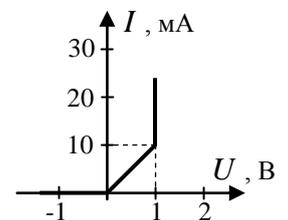
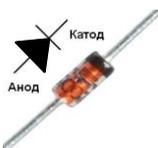
**3.** При включении в сеть трехламповой люстры с двумя выключателями была допущена ошибка. В результате этого при замыкании одного из выключателей все три лампы горели неполным накалом. При замыкании другого выключателя нормально горела только одна из ламп, а две другие вообще не горели. Тот же эффект давало одновременное замыкание обоих выключателей. При разомкнутых выключателях все три лампы не горели. Нарисуйте возможную схему выполненного монтажа и объясните, как нужно исправить схему, чтобы при помощи этих выключателей включались и горели полным накалом одна, две или все три лампы.



**4.** Для подъема затонувшей подводной лодки необходимо заполнить цистерны главного балласта (отсеки, частично заполненные воздухом, связанные системой труб с забортной водой и обеспечивающие возможность управлять глубиной погружения лодки) воздухом. Какой объем воды вытеснит из цистерны воздух баллона емкостью  $V = 50 \text{ л}$ , заполненного при температуре  $t = 27^\circ \text{ С}$  до давления  $p = 10 \text{ МПа}$ ? Лодка находится на глубине  $H = 40 \text{ м}$ , температура воздуха после заполнения цистерны становится равной  $t_1 = 3^\circ \text{ С}$ . Атмосферное давление равно  $10^5 \text{ Па}$ , плотность воды  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ ,  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .



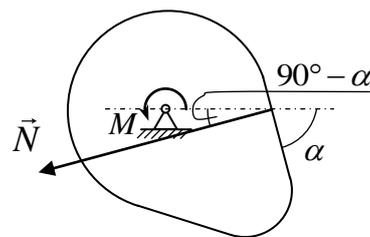
**5.** Идеализированная вольт-амперная характеристика диода (Д) приведена на рисунке. Конденсатор емкости  $C = 100 \text{ мкФ}$ , заряженный до напряжения  $U = 5 \text{ В}$ , подключается через диод к сопротивлению  $R = 100 \text{ Ом}$  (см. схему подключения на рисунке). Какое количество теплоты выделится на сопротивлении при полной разрядке конденсатора.



**6.** Оценить, грузоподъемность дирижабля объемом  $V = 10^5 \text{ м}^3$ , заполненного гелием. Упругостью оболочки дирижабля можно пренебречь. Масса оболочки  $M = 20 \text{ т}$ . Как изменилась бы грузоподъемность дирижабля, если бы он был заполнен водородом? Значения всех необходимых для оценки величин выберите сами, исходя из своих знаний, опыта и здравого смысла.

## Ответы и решения

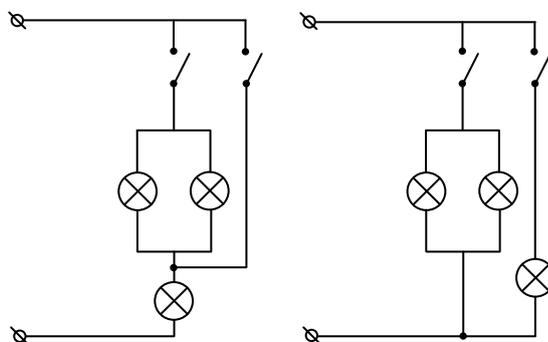
1. Поскольку кулачок вращается равномерно, сумма моментов всех сил, действующих на него, равна нулю. Кроме момента внешней силы на кулачок действует толкатель, причем сила  $\vec{N}$ , действующая на кулачок со стороны толкателя, перпендикулярна поверхности кулачка в точке касания. Из рисунка очевидно, что плечо  $d$  силы  $\vec{N}$  определяется соотношением  $d = l \cos \alpha$  (поперечными размерами толкателя пренебрегаем). Отсюда находим  $Nl \cos \alpha = M$ , или



$$N = \frac{M}{l \cos \alpha} = 53,3 \text{ Н.}$$

2. При поворотах внутреннее и внешнее колесо движутся по окружностям разных радиусов и, следовательно, проходят разный путь. А поскольку они имеют одну ось, то их угловая скорость одинакова. Поэтому должно быть проскальзывание колеса по рельсу. В автомобилях непроскальзывание колес при поворотах обеспечивается специальным устройством – дифференциалом, который дает колесам вращаться в определенной степени независимо. Чтобы избежать проскальзывания колес поезда их делают коническими, а расстояние между рельсами на поворотах немного уменьшают по сравнению с расстоянием между ними на ровных участках. На повороте центробежная сила отбрасывает вагон от центра поворота, и по внутреннему рельсу катится колесо меньшего диаметра, чем по внешнему. Это обеспечивает непроскальзывание колес. Кроме того, из-за этого эффекта происходит подъем внешней по отношению к повороту части поезда и опускание внутренней. Поэтому поезда на поворотах наклоняется к центру поворота, что дает дополнительную центростремительную силу.

3. Одна из возможных схем неправильного включения ламп, показана на левом рисунке. Правый рисунок дает правильную схему включения ламп.



4. Закон Клапейрона-Менделеева для воздуха в баллоне дает

$$pV = \nu RT$$

где  $\nu$  - количество вещества воздуха в баллоне,  $T = t + 273(K)$  - абсолютная температура воздуха в баллоне. В цистерне главного балласта, соединяющейся с забортной водой, давление воздуха будет равно давлению воды на глубине  $H$ , т.е.  $p_1 = p_a + \rho gH$ , где  $p_a$  - атмосферное давление,  $\rho$  - плотность воды. Поэтому закон Клапейрона-Менделеева для этого же воздуха в цистерне главного балласта дает

$$p_1 V_1 = \nu R T_1$$

где  $V_1$  - искомый объем,  $T_1 = t_1 + 273(K)$  - температура воздуха в цистерне. Деля эти уравнения друг на друга, получим

$$V_1 = \frac{pVT_1}{(p_a + \rho gH)T} = 0,92 \text{ м}^3$$

5. Согласно закону сохранения энергии на резисторе и диоде выделится энергия конденсатора  $CU^2/2 = 1,25 \cdot 10^{-3}$  Дж. Найдем, как эта энергия распределится между элементами.

Напряжение на диоде не может превышать значение  $U_0 = 1$  В при условии, что ток в цепи превышает значение  $I_0 = 10$  мА. Очевидно, что в начальный момент это условие выполнено. Действительно, в этом случае на резисторе будет напряжение  $U - U_0 = 4$  В, и, следовательно, ток в цепи будет равен  $I = (U - U_0)/R = 40$  мА, что больше, чем  $I_0$ . И такой режим сохранится, пока напряжение на резисторе не станет равным  $I_0R = 1$  В, а на конденсаторе  $U_1 = U_0 + I_0R = 2$  В. За это время энергия конденсатора уменьшится на величину

$$W_1 = \frac{CU^2}{2} - \frac{CU_1^2}{2} = 1,05 \cdot 10^{-3} \text{ Дж},$$

которая и выделится на диоде и резисторе. Поскольку за это время по цепи протечет заряд

$$q = CU - CU_1 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ Кл},$$

а электрическое поле совершит работу  $A = U_0q = 3 \cdot 10^{-4}$  Дж при переносе этого заряда через диод, на резисторе выделится энергия

$$Q_1 = W_1 - A = 7,5 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}.$$

После этого диод будет «работать» как обычное сопротивление  $r = U_0/I_0 = 100$  Ом, равное сопротивлению резистора. А это значит, что на резисторе выделится половина запасенной в конденсаторе к этому моменту энергии (вторая половина выделится на диоде). Поскольку в конденсаторе к этому моменту запасена энергия

$$W_2 = \frac{CU_1^2}{2} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ Дж},$$

то на резисторе выделится  $Q_1 = 1 \cdot 10^{-4}$  Дж. Т.е. всего на резисторе выделится количество теплоты

$$Q_1 + Q_2 = 8,5 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}.$$

6. Поскольку упругостью оболочки дирижабля по условию можно пренебречь, давление гелия внутри дирижабля равно атмосферному давлению. Поэтому концентрация гелия внутри равна концентрации воздуха снаружи. Грузоподъемность – это разность силы Архимеда  $F_A$ , действующей на дирижабль, и силы тяжести, действующей на оболочку и газ внутри нее. Поэтому грузоподъемность дирижабля есть

$$(F_A / g) - m - M = \rho_e V - \rho_{He} V - M = n\mu_e V - n\mu_{He} V - M = \rho_e V \left( 1 - \frac{\mu_{He}}{\mu_e} \right) - M \quad (1)$$

где  $m$  - масса гелия внутри оболочки,  $\rho_e$  и  $\rho_{He}$  - плотности воздуха и гелия,  $n$  - концентрация газов,  $\mu_e$  и  $\mu_{He}$  - молярные массы воздуха и гелия.

Оценим плотность воздуха при нормальных условиях. Как известно, моль любого газа занимает при нормальных условиях объем 22,4 л. А поскольку средняя молярная масса воздуха  $\mu_g = 29$  г/моль, то масса 22,4 л воздуха составляет  $\mu_g = 29$  г, и, следовательно, плотность воздуха при нормальных условиях есть

$$\rho_g = \frac{29}{22,4} = 1,3 \text{ кг/м}^3$$

Учитывая, что молярная масса гелия  $\mu_{He} = 4$  г/моль, из формулы (1) получаем для грузоподъемности дирижабля - 92 тонны. Если бы дирижабль был заполнен водородом  $H_2$  с молярной массой  $\mu_{H_2} = 2$  г/моль, его грузоподъемность составила бы 101 тонну, т.е. увеличилась бы на 10 процентов.