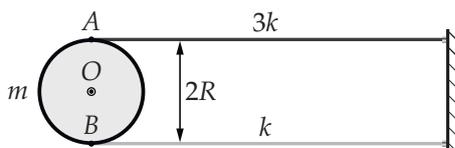


**1. Похоже на сплит-систему (6 баллов)**

Тепловая машина комнатной сплит-системы работает по обратному циклу Карно, при этом можно считать, что температура на «горячей» изотерме цикла равна температуре в комнате, а на «холодной» — температуре на улице. Летом, когда температура за окном равна  $+27^\circ\text{C}$ , сплит-система, работая в режиме кондиционирования (как холодильный агрегат), поддерживает в комнате температуру  $+17^\circ\text{C}$  и потребляет от электросети среднюю мощность  $N_1$ . В начале зимы, когда температура на улице опускается до  $-3^\circ\text{C}$ , в сплит-системе включается режим теплового насоса, и она поддерживает в комнате ту же температуру  $+17^\circ\text{C}$ , что и летом, потребляя среднюю мощность  $N_2$ . Можно считать, что тепловой поток (через окна и стены) пропорционален разности температур в комнате и на улице с одинаковым коэффициентом пропорциональности летом и зимой. Найдите отношение мощностей  $n = \frac{N_2}{N_1}$ , потребляемых сплит-системой при работе в разных режимах.

**2. На резинках (8 баллов)**

Масса горизонтально расположенного диска, насаженного на вертикальную ось  $O$  (см. рисунок), равна  $m$  и равномерно распределена по границе диска — окружности радиусом  $R$ . В точках  $A$  и  $B$ , лежащих на одном диаметре закреплены резиновые нити жёсткостью  $k$  и  $3k$ . Другие концы нитей присоединены к вертикальной стене. В положении равновесия отрезок  $AB$  располагается параллельно стене, нити не провисают, но и не деформированы, расстояние между ними равно  $2R$ .



**A.** Пусть диск может вращаться, не испытывая трения, вокруг оси. Определите период малых колебаний диска. (3 балла)

**B.** Ось вращается по часовой стрелке с достаточно большой постоянной угловой скоростью. Трение между осью и диском сухое. Максимальный момент сил трения, действующих на диск равен  $M_0$  ( $M_0 \ll kR^2$ ). Сначала диск удерживают в положении равновесия, потом отпускают.

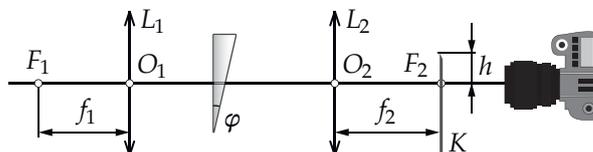
V1) Через какое время после этого угловая скорость диска станет максимальной? (2 балла)

V2) Чему равна максимальная угловая скорость диска? (2 балла)

V3) Как изменится ответ, если диск будет вращаться против часовой стрелки? (1 балл)

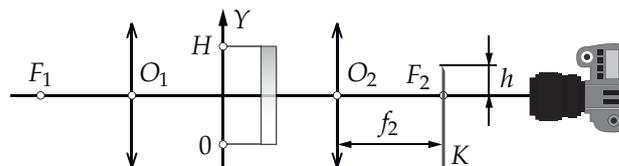
**3. Шлирен-метод (10 баллов)**

Для наблюдения и фотографирования оптических неоднородностей в прозрачных средах часто применяют *шлирен-метод* (теневого метод), который может быть реализован по схеме, изображённой на рисунке. Две тонкие линзы  $L_1$  и  $L_2$  располагаются параллельно друг другу, так что их оптические оси совпадают. В фокусе одной линзы, в т.  $F_1$  находится точечный источник света. В фокальной плоскости другой линзы (т.  $F_2$ ) располагается *нож Фуко* — большой прямоугольный непрозрачный экран  $K$  с острой кромкой, которая выступает над уровнем оптической оси на небольшое расстояние  $h$ . Фокальная плоскость объектива фотоаппарата совпадает с фокальной плоскостью линзы  $L_2$ .



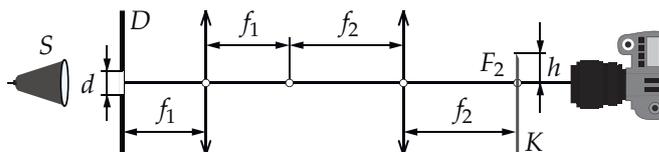
**A.** Пусть между линзами располагается (как показано на рисунке) призма с малым преломляющим углом  $\varphi$  и показателем преломления  $n$ . Фокусное расстояние линзы  $L_2$  равно  $f_2$ . При каких значениях  $h$  на фотографии ничего не будет видно? (2 балла)

**B.** Призму заменяют на плоско-параллельную пластинку (см. рис. ниже) толщиной  $d$  и высотой  $H$  ( $d \ll H$ ), показатель преломления которой линейно зависит от координаты  $y$ :  $n(y) = n_0 \left(1 + \frac{\alpha y}{H}\right)$ , значения  $n_0$  и  $\alpha$  ( $\alpha \ll 1$ ) считаются известными.



При каких значениях  $h$  в этом случае на фотографии ничего не будет видно? (4 балла)

**C.** Практически реализовать точечный источник света довольно трудно. Обычно на пути света, идущего от протяжённого источника  $S$  (рис. ниже) размещают диафрагму  $D$  — непрозрачный экран с маленьким отверстием диаметром  $d$  ( $d \ll f_1, f_2$ ).

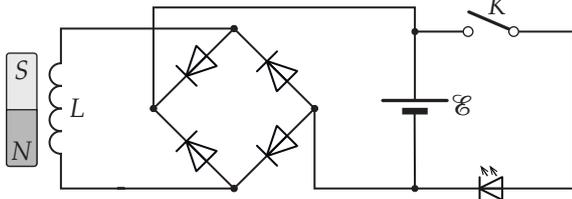


При каких значениях  $h$  на фотографии опять ничего не будет видно, если расстояние между линзами равно  $f_1 + f_2$ ? (4 балла)

**Продолжение задания на листе 2**

**4. «Фонарь Фарадея» (12 баллов)**

В фонаре Фарадея аккумулятор заряжается благодаря подвижному магниту, периодически пролетающему через катушку индуктивности. Чтобы фонарь заряжался, его нужно трясти в руке, чтобы магнит быстро летал туда-сюда сквозь катушку. На рис. ниже показана упрощённая схема фонаря. ЭДС аккумулятора равна  $\mathcal{E} = 3,6\text{В}$ . Катушка состоит из  $n = 3000$  витков проволоки, её внутренний радиус чуть больше радиуса магнита, индуктивность и активное сопротивление равны:  $L = 0,1\text{Гн}$  и  $R = 50\text{Ом}$  соответственно. Диаметр цилиндрического магнита и его длина равны:  $d = 15\text{мм}$  и  $h = 23\text{мм}$ . Длина катушки равна длине магнита  $h$ .



Пусть фонарь трясут с частотой  $\nu = 4\text{Гц}$ . Магнит движется в пластиковой трубке длиной  $H = E = 12,3\text{см}$ . Для оценок, которые требуется сделать в этой задаче, предлагается считать, что магнит в трубке совершает гармонические колебания с амплитудой  $0,5(H - h)$ , диоды — идеальные, внутреннее сопротивление аккумулятора и проводов много меньше сопротивления катушки  $R$ .

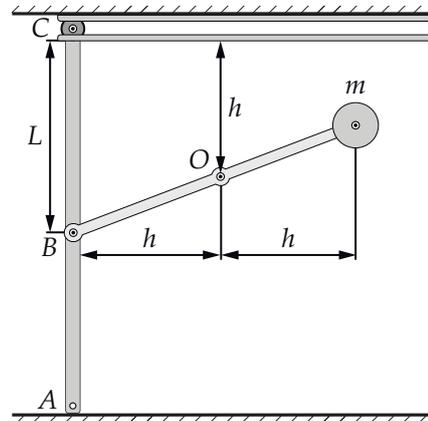
**А.** Вычислите приближённо максимальную ЭДС индукции и максимальную ЭДС самоиндукции в катушке (по модулю). Найдите отношение этих величин. Убедитесь, что одна из них много больше другой. (5 баллов)

**В.** Какое примерно число раз магнит должен пролететь сквозь катушку, чтобы в аккумуляторе накопилась энергия  $E = 50\text{Дж}$ ? (4 балла)

**С.** Определите приближённо отношение времени зарядки (тряски) ко времени работы без тряски, если потребляемая светодиодами от аккумулятора мощность равна  $P = 0,5\text{Вт}$ . (3 балла)

**5. Ворота (16 баллов)**

Механизм, при помощи которого производится подъём откидных ворот гаража, изображён на рисунке ниже, при этом ворота  $ABC$  находятся в вертикальном положении (закрыты). Прикладывая силу к ручке, расположенной у нижнего края ворот в т.  $A$ , можно перевести ворота в горизонтальное положение (открыть). При подъёме ворот ролик  $C$ , закреплённый на их верхнем крае, движется по горизонтальным направляющим. В т.  $B$  ( $AB = BC = L$ ) ворота шарнирно соединены с коромыслом, которое может вращаться вокруг неподвижной оси  $O$ . На другом конце коромысла находится груз массой  $m = 25\text{кг}$ . Ворота можно считать тонкой однородной пластиной массой  $M = 30\text{кг}$ . Массой коромысла и ролика, любыми видами трения, а также линейными размерами ролика и диска можно пренебречь. Размеры, указанные на рисунке, равны:  $L = 92\text{см}$ ,  $h = 65\text{см}$ . В верхнем положении ворота фиксируются защёлкой.



**А.** А1) Какую силу  $F_1$ , перпендикулярную воротам, необходимо прикладывать к ручке, чтобы удерживать ворота неподвижно при горизонтальном положении коромысла? (2 балла)

А2) Какую минимальную (!) силу  $F_2$  необходимо прикладывать к ручке, чтобы ворота оставались неподвижными при горизонтальном положении коромысла? (4 балла)

**В.** Пусть при очень медленном подъёме ворот из начального вертикального положения в конечное горизонтальное к ручке в каждый момент времени прикладывается минимальная необходимая для подъёма сила. Чему равно максимальное значение  $F_{\text{max}}$  этой минимальной силы? Иначе говоря, каких минимальных мускульных усилий потребует от человека подъём ворот? (7 баллов)

**С.** Если в верхнем положении открыть защёлку, то ворота начнут двигаться вниз, а коромысло — поворачиваться. Определите скорость груза в момент, когда ворота коснутся земли. (3 балла)