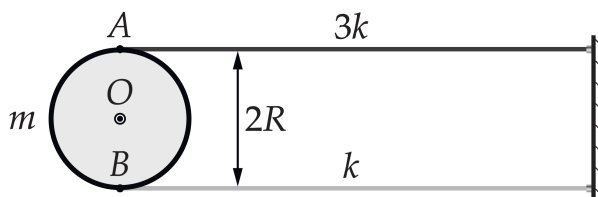


Московская олимпиада школьников по физике

11 класс, второй тур, 2021 год

Задача 1. На резинках. Масса горизонтально расположенного колеса, насаженного на вертикальную ось O (см. рисунок), равна m и равномерно распределена по его границе — 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 $2R$.



А. Пусть диск может вращаться, не испытывая трения, вокруг оси. Определите период малых колебаний диска.

В. Ось вращается по часовой стрелке с достаточно большой постоянной угловой скоростью. Трение между осью и колесом сухое. Максимальный момент сил трения, действующих на колесо равен M_0 ($M_0 \ll kR^2$). Сначала колесо удерживают, при этом нити остаются нерастяннутыми, потом отпускают.

В1) Через какое время после этого угловая скорость колеса станет максимальной? Чему равна эта максимальная скорость?

В2) Как изменится ответ, если ось будет вращаться против часовой стрелки?

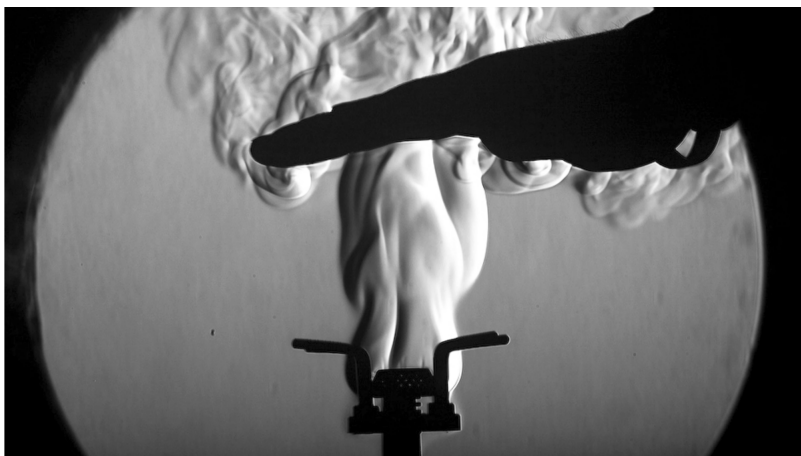
$$\boxed{A) T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{3k}}; B1) t_1 = \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{M_0}{m}}; B2) t_2 = \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{M_0}{m}}; \omega_{\max}^{(1)} = \frac{M_0}{kR^2}; \omega_{\max}^{(2)} = \frac{M_0}{3kR^2}}$$

Задача 2. Похоже на сплит-систему. Тепловая машина комнатной сплит-системы работает по обратному циклу Карно, при этом можно считать, что температуры в комнате и на улице соответствуют температурам на изотермах цикла. 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°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.

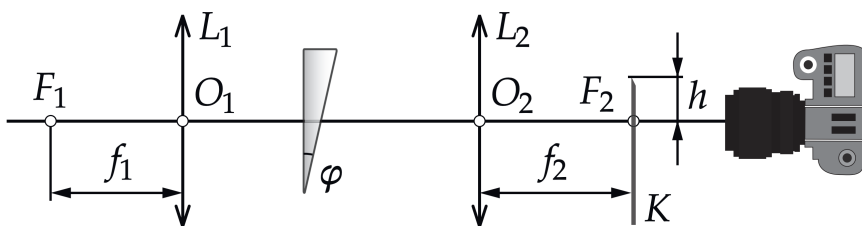
$$\boxed{n = \frac{1}{2}}$$

Задача 3. Шлирен-метод. Для фотографирования оптических неоднородностей в прозрачных средах часто применяют шлирен-метод. На фотографии ниже (Flickr.com, Phil Taylor)

можно видеть потоки горячего воздуха, порождаемые пламенем газовой горелки и обтекающие ладонь человека.

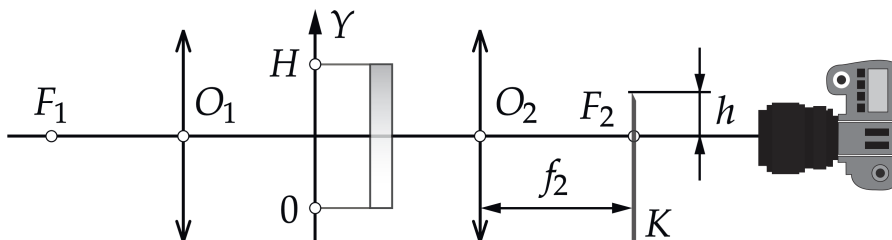


Шлирен-метод может быть реализован по схеме, изображённой на рис. ниже. Две тонкие линзы L_1 и L_2 располагаются так, что их оптические оси совпадают. В фокусе одной линзы, в т. F_1 находится точечный источник света, а в фокальной плоскости другой (т. F_2) — нож Φ уко — большой непрозрачный экран K с острой кромкой, выступающей над уровнем оптической оси на небольшое расстояние h . Фокальная плоскость объектива фотоаппарата совпадает с фокальной плоскостью линзы L_2 .



А. Пусть между линзами располагается (см. рис. выше) призма с малым преломляющим углом φ и показателем преломления n . Фокусное расстояние линзы L_2 равно f_2 . При каких значениях h на фотографии будет виден только серый фон?

В. 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 : $n(y) = n_0 (1 + \frac{\alpha y}{H})$, значения n_0 и α ($\alpha \ll 1$) считаются известными.

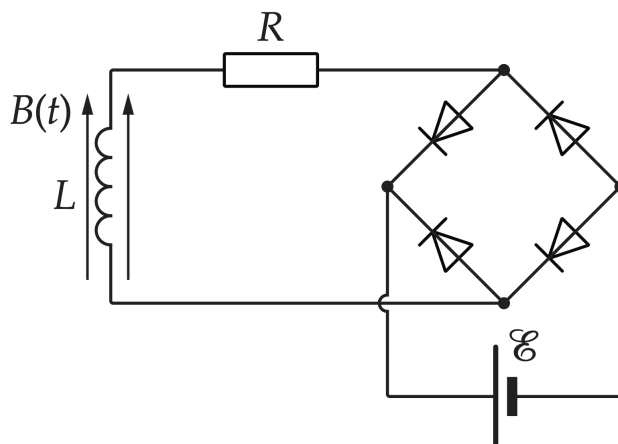


При каких значениях h в этом случае на фотографии будет виден только серый фон?

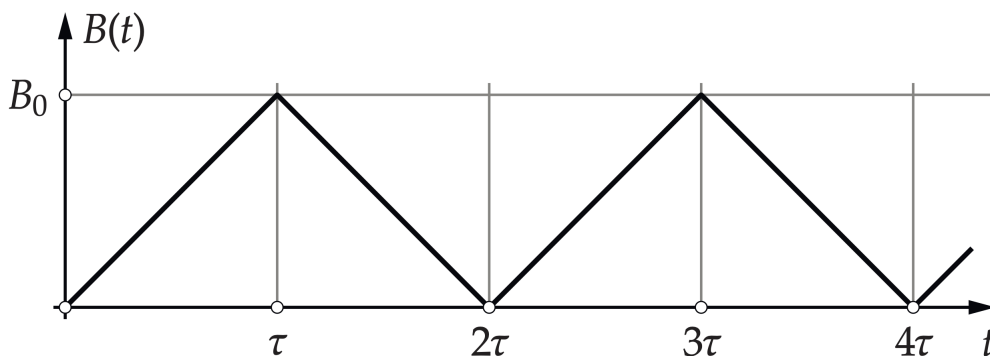
С. Коротко объясните (два-три предложения), почему на фотографии в начале задачи ладонь и горелка — тёмные, а потоки воздуха — светлые, а также почему все изображения видны на фоне серого круга.

$$\frac{H}{f_2} < h < \frac{f_2}{\alpha} \quad (\text{В}) \quad \frac{H}{f_2} < h < \frac{f_2}{\alpha} \quad (\text{А})$$

ЗАДАЧА 4. **Магнитная зарядка.** Аккумулятор с ЭДС \mathcal{E} , внутреннее сопротивление которого можно считать равным нулю, заряжают в цепи, изображённой на рисунке.



Диодный мост состоит из идеальных диодов, открывающихся при нулевом напряжении. Катушка индуктивностью L располагается в области периодически изменяющегося магнитного поля $B(t)$. Можно считать, что сопротивление катушки и подводящих проводов сосредоточено в резисторе сопротивлением R . Катушка намотана на сердечник в виде полого цилиндра сечением S и содержит N витков. Внешний радиус катушки незначительно отличается от внутреннего. Индукция магнитного поля $B(t)$, создаваемого внешними источниками, направлена вдоль оси катушки. Можно считать, что внутри сердечника поле однородно. Фрагмент зависимости индукции поля от времени показан на графике ниже. Постоянные B_0 и τ считаются известными, при этом их значения таковы, что схема может обеспечить зарядку аккумулятора за конечное время.

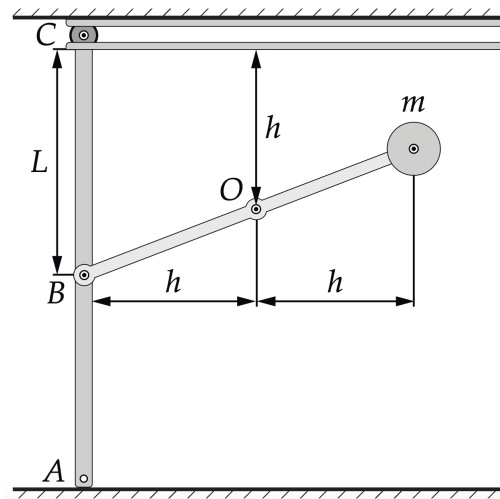


А. Известно, что параметры схемы удовлетворяют соотношению $\frac{L}{R} \ll \tau$. Определите заряд, протекающий через аккумулятор за время t_0 .

В. Пусть сопротивление R настолько мало, что выполняется условие: $\frac{L}{R} \gg \tau$. Найдите средний ток, текущий через аккумулятор спустя длительное время после начала зарядки.

$$\boxed{I_{\text{ср}} = \frac{1}{t_0} \int_0^{t_0} I(t) dt = \frac{1}{t_0} \int_0^{t_0} \frac{N^2 S B_0}{R} \sin^2\left(\frac{t}{\tau}\right) dt}$$

Задача 5. Ворота. 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 $m = 25$ кг. Ворота можно считать тонкой однородной пластиной массой $M = 30$ кг. Массой коромысла и ролика, любыми видами трения, а также линейными размерами ролика и груза можно пренебречь. Ускорение свободного падения и значения параметров, указанных на рисунке, равны: $g = 10$ м/с²; $L = 92$ см, $h = 65$ см. В верхнем положении ворота фиксируются защёлкой.



Ускорение свободного падения и значения параметров, указанных на рисунке, равны: $g = 10$ м/с²; $L = 92$ см, $h = 65$ см. В верхнем положении ворота фиксируются защёлкой.

А.

- A1) Какую силу F_1 , перпендикулярную воротам, необходимо прикладывать к ручке, чтобы удерживать ворота неподвижно при горизонтальном положении коромысла?
- A2) Какую минимальную (!) силу F_2 необходимо прикладывать к ручке, чтобы ворота оставались неподвижными при горизонтальном положении коромысла?

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_{\max} этой минимальной силы?

С. Если в верхнем положении открыть защёлку, то ворота начнут двигаться вниз, а коромысло — поворачиваться. Определите скорость нижней точки ворот в момент, когда она коснётся земли.

$$\boxed{A1) F_1 \approx \sqrt{\frac{2(M-m)g}{3}} \approx 23,6 \text{ Н}; A2) F_2 \approx \sqrt{\frac{5}{2}} \frac{M}{g} \approx 22,4 \text{ Н}; B) F_{\max} = \frac{2}{g} \frac{M}{(m-L)} = 25 \text{ Н}; C) v = \sqrt{\frac{M}{(m-L)gL}} \approx 3 \text{ м/с}}$$