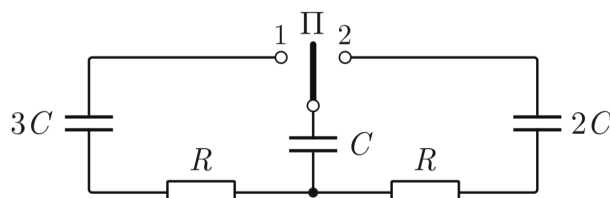


Московская олимпиада школьников по физике

11 класс, первый тур, 2020 год

ЗАДАЧА 1. В цепи, схема которой изображена на рисунке, в начальный момент времени конденсатор ёмкостью $3C = 300$ мкФ заряжен до напряжения $U_0 = 12$ В, конденсаторы ёмкостью C и $2C$ не заряжены. Переключатель Π в среднем положении.



Переключатель Π сначала перекидывают в положение 1 на короткое время (много меньшее RC), а затем в положение 2 на гораздо большее время. Определите заряды конденсаторов после многократного повторения этих двух операций. Найдите приближённо, какое количество теплоты выделяется в каждом из резисторов.

$$Q \approx \frac{U_0^2}{2} \left(\frac{3C}{3C+R} + \frac{C}{C+R} \right) \approx \frac{U_0^2}{2} \left(\frac{3C}{3C} + \frac{C}{C} \right) = \frac{U_0^2}{2} (1 + 1) = U_0^2 = 144 \text{ Дж}$$

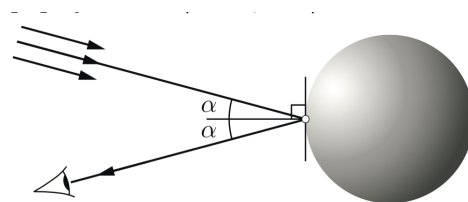
ЗАДАЧА 2. Герметичный металлический сосуд заполняют смесью воздуха и водяного пара и начинают охлаждать, поместив в термостат с тающим льдом. В процессе охлаждения измеряют температуру в сосуде с погрешностью $\Delta T = 0,5^\circ\text{C}$ и давление — с погрешностью $\Delta p = 0,05 \cdot 10^5$ Па. В результате получают таблицу.

$t, ^\circ\text{C}$	137	123	109	82	55	27	0
$p, 10^5 \text{ Па}$	1,5	1,45	1,4	1,3	0,8	0,7	0,6

Определите отношение количества воды к количеству воздуха в сосуде, а также плотность газовой фазы в начале и в конце процесса. Учтите, что давление насыщенных паров воды, равное 1 кПа, достигается при температуре около 7°C . Молярные массы воды и воздуха равны соответственно 18 г/моль и 29 г/моль.

$$\rho_{\text{возд}} = \frac{p_{\text{возд}}}{R T} = \frac{1,1 \cdot 10^5}{29 \cdot 273} \approx 1,4 \text{ кг/м}^3$$

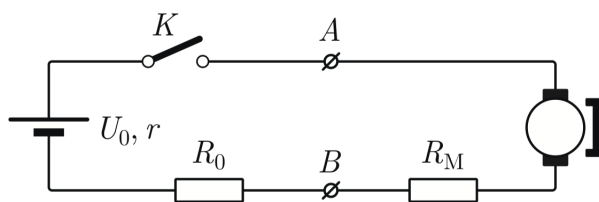
ЗАДАЧА 3. Наблюдатель видит изображение Солнца в полированном металлическом шаре. Угловая высота Солнца над горизонтом равна α и равна углу между линией зрения и горизонтальной нормалью к шару. Определите характерный размер изображения Солнца, если радиус шара равен R , а угловой размер Солнца равен φ ($\varphi \ll \alpha$).



Примечание. Для малого угла φ справедливы приближённые формулы: $\cos \varphi \approx 1$, $\sin \varphi \approx \varphi$.

$$\phi = \frac{r}{d \cos \alpha} = \gamma \nabla$$

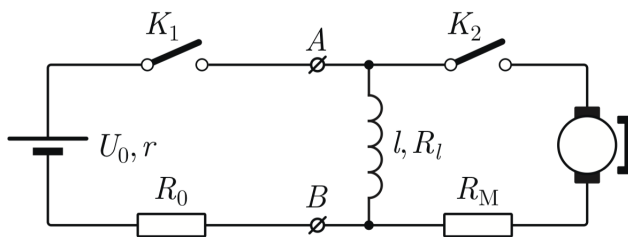
ЗАДАЧА 4. На рисунке изображена простейшая модельная схема подключения электродвигателя (автомобильного стартера) к аккумулятору.



Параметр схемы $R_M = 2 \cdot 10^{-2}$ Ом моделирует сопротивление обмоток якоря двигателя, r и R_0 — внутреннее сопротивление аккумулятора с ЭДС $U_0 = 12$ В и сопротивление проводов, при этом $R_0 + r = 10^{-2}$ Ом. Можно считать, что ЭДС индукции, вырабатываемая электродвигателем, пропорциональна угловой скорости вращения вала: $|\mathcal{E}_i| = k\omega$, а момент сил, действующих на вал со стороны магнитного поля, пропорционален току $M = kI$. Для упрощения расчётов далее полагаем, что вал электродвигателя не нагружен.

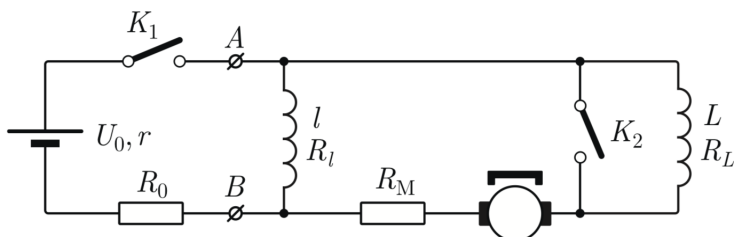
- 1) Найдите напряжение U_{AB} на клеммах электродвигателя (между точками A и B) сразу после замыкания ключа, а также максимальное значение силы тока в цепи. Чему равен ток в момент, когда угловая скорость вращения вала составляет 75% от максимального значения?

Другая модельная схема (рис. ниже) учитывает наличие в конструкции удерживающей обмотки втягивающего реле, R_l — сопротивление катушки индуктивностью l . При включении сначала замыкается ключ K_1 , а когда ток через катушку установится, замыкается ключ K_2 .



- 2) Считая, что отношение $\alpha = \frac{R_l}{r+R_0}$ известно ($\alpha > 1$), определите максимальное значение тока через двигатель в этом случае.
- 3) При выключении электродвигателя (после того, как скорость вращения вала установится) сначала размыкают ключ K_1 . При этом напряжение на клеммах двигателя почти мгновенно увеличивается на $\Delta U_{AB} = 2$ В. Определите по этим данным параметр α .

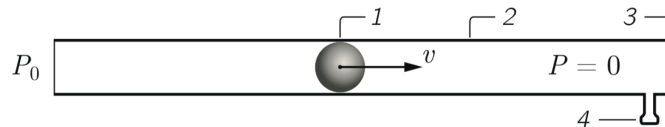
Наиболее близка к реальному устройству схема, изображенная на третьем рисунке. Ключи изначально разомкнуты. Поворот ключа зажигания соответствует замыканию ключа K_1 . Когда ток через катушку L достигает некоторого порогового значения $I_{\text{п}}$, замыкается ключ K_2 (магнитное поле катушки втягивает шток, замыкающий контакты ключа K_2).



- 4) Индуктивность второй катушки L и её сопротивление R_L таковы, что выполняются равенства: $L = 10l$, $R_L = 5R_L$. Известно, что значение тока I_{Π} лежит между 10 А и 20 А. Чему равен ток через катушку индуктивностью l в момент замыкания ключа K_2 ? Численное значение параметра α считайте известными из п. 3).

См. конспект

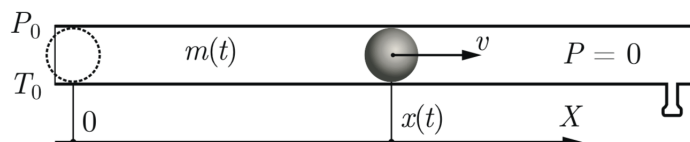
ЗАДАЧА 5. В последние годы большой интерес у энтузиастов, занимающихся научно-техническим творчеством, вызывает устройство под названием «вакуумная пушка». В полпропиленовой водопроводной трубе 2 (см. рисунок ниже), один конец которой герметично закрыт заглушкой из фольги 3, а другой открыт в атмосферу, разностью давлений ускоряется шарик 1 для игры в пинг-понг. Внутренний диаметр трубы близок к диаметру шарика. Рядом с заглушкой располагается штуцер 4, через который труба соединяется с вакуумным насосом. Таким образом, справа от шарика давление очень низкое, а у открытого конца трубки — давление, близкое к атмосферному, которое равно P_0 .



Оказывается, что при достаточно большой длине трубки и качественной откачке шарик можно разогнать до высокой скорости, так что он легко разорвёт фольгу заглушки и вылетит из трубки. В одном видеоролике, доступном в сети, демонстрируется, как вылетающий из трубки шарик пробивает пустые банки из-под газировки, поставленные на небольшом расстоянии от трубки.

- 1) В самой грубой модели предполагается, что слева от шарика давление равно $P_0 = 10^5$ Па, а справа — равно нулю. Разность давлений не меняется в процессе разгона шарика. Трения между шариком и стенками трубы нет. До какой максимальной скорости $v_{\max}^{(1)}$ может быть разогнан шарик массой $M = 2,7$ г и диаметром $d = 40$ мм в трубе длиной $L = 2$ м?

В более точной модели считается, что под действием постоянной разности давлений ускоряется не только шарик, но и воздух массой $m(t)$, располагающийся в момент t в трубе слева от шарика, а также вовлекаются в движение новые порции воздуха из атмосферы. Предлагается считать, что область вблизи левого торца трубы, в которой воздух вовлекается в движение, имеет малый характерный размер, сопоставимый с диаметром трубы. Снаружи трубы вне этой области воздух остаётся неподвижным. Внутри трубы воздух движется со скоростью шарика, а его плотность равна плотности воздуха ρ снаружи. Диаметр шарика много меньше длины трубы. В начальный момент времени координата x шарика и его скорость равны нулю.



- 2) Определите более точное значение скорости $v_{\max}^{(2)}$, до которой может быть разогнан шарик тех же размеров, что и в п. 1) задачи, в трубе той же длины. Время разгона в первом приближении можно считать равным времени разгона в п. 1). Температура воздуха и его молярная масса равны: $T_0 = 293$ К, $\mu = 29$ г/моль соответственно.

- 3) Считая известными только температуру $T_0 = 293$ К снаружи трубы и молярную массу воздуха $\mu = 29$ г/моль, определите максимальную скорость, до которой может быть разогнан шарик. Длина трубы предполагается достаточно большой.
- 4) Даны параметры: M, S, P_0, ρ, μ . Получите формулу зависимости координаты шарика от времени $x(t)$.

Примечание. Может оказаться полезной формула $\Delta(x^2) = 2x\Delta x$, справедливая для малых изменений ($\Delta x \ll x$) величины x .

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{S^d}{M} \right) \sqrt{\lambda} + \frac{S^d}{M} - = (t)x (\text{г/м}^3 \text{ } 167 \approx \frac{n}{V} \sqrt{\lambda} = \frac{d}{V} \sqrt{\lambda} = n (\text{г/м}^3 \text{ } 667 \approx \frac{M+TS^d}{P_0 S^d} = \frac{v_{\text{max}}}{(2) \text{г/м}^3 \text{ } 087 \approx \sqrt{2} \sqrt{\lambda} = \frac{v_{\text{max}}}{(1) \text{г/м}^3 \text{ } 1}$$

Ответ к задаче 4

1) $U_{AB}(o) = \frac{U_0 R_M}{r+R_0+R_M} = 8 \text{ В}; I_{\max} = \frac{U_0}{r+R_0+R_{\max}} = 400 \text{ А}; I = 100 \text{ А};$

2) $I_1 = \frac{U_0}{r+R_0} \frac{1}{1+\alpha}; I_M = \frac{U_0}{r+R_0+R_{\max}} \frac{\alpha}{1+\alpha};$

3) $\Delta U_{AB} = U_0 \frac{R_M}{r+R_0} \frac{1}{1+\alpha}, \alpha = 11;$

4) $I_l = 100 \text{ А}$