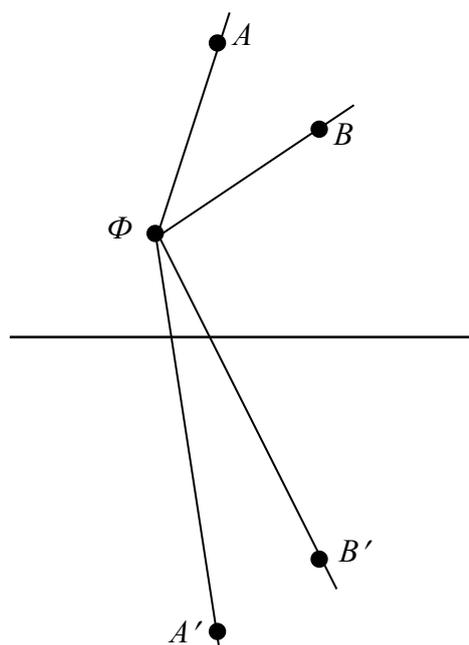


ЗАДАНИЕ ПО ФИЗИКЕ
ВАРИАНТ 27111 для 11-го класса

1. Каждый год студенты НИУ «МЭИ», участники туристическо-поискового клуба «Горизонт», отправляются в походы по разным местам нашей страны. Свои фоторепортажи они показывают на выставках в фойе главного учебного корпуса. На этом снимке изображен лес, сфотографированный с берега озера. Как определить, где расположено отражение леса в воде: на верхней или на нижней части фотоснимка? Объясните свой ответ при помощи графических построений световых лучей. Яркость, четкость и контрастность верхней и нижней половины фотографии одинаковы.

Решение.

Поверхность озера представляет собой плоское зеркало. Рассмотрим сначала расположение двух точечных объектов A и B , расположенных на разной высоте от поверхности зеркала, и их отражений, A' и B' , которые видны в фотоаппарат Φ . Лишний раз отметим, что точки A и A' , B и B' симметричны относительно зеркала. Поскольку фотоаппарат расположен выше поверхности воды, то в прямых лучах (идущих в фотоаппарат от точек A и B) эти объекты находятся на большем угловом расстоянии, чем в отраженных (идущих в фотоаппарат от изображений точек A' и B'). Поэтому изображения точек «прижаты» друг к другу.



Выберем в качестве точки B верхушки пожелтевших берез, а в качестве точки A – край облака над ними. На левой фотографии точки A и B располагаются дальше друг от друга, чем точки A' и B' . Поэтому сверху – предмет, а внизу – его изображение (отражение). Если посмотреть на фотографию в условии задачи и найти на ней эти точки, то увидим, что облако на верхней части снимка расположено ближе к

верхушкам деревьев, чем на нижней части снимка. Поэтому на фотографии в условии задачи **отражение леса расположено в верхней части**.

Олимпиада школьников «Надежда энергетики». Заключительный этап.

2. Учащиеся школы №1502 “Энергия” во время своей летней учебной практики в НИУ «МЭИ» изготовили модель плоского конденсатора. Она представляла собой два больших гладких алюминиевых диска, расположенных горизонтально на расстоянии $d = 1$ см друг от друга. Школьники обнаружили, что заряженный конденсатор быстро разряжается, предположительно из-за наличия ионов в воздухе. После того, как модель конденсатора поместили в герметичный сосуд, откачали воздух и зарядили до разности потенциалов между пластинами $U = 1000$ В, сила тока разрядки заметно уменьшилась и стала равна $I = 0,275$ нА. Ученики выдвинули предположение, что в зазоре конденсатора осталась пылинка, которая и приводила к разрядке конденсатора. Определите плотность материала пылинки, считая её очень маленьким металлическим шариком. Столкновение пылинки с обкладкой конденсатора считать абсолютно неупругим ударом. Действием силы тяжести пренебречь.

Решение.

При соударении с обкладкой конденсатора пылинка приобретает заряд $q = C\varphi$, где $C = 4\pi\epsilon_0 r$ (r - радиус пылинки), а φ - потенциал обкладки ($\varphi = \frac{U}{2}$).

Движение пылинки между обкладками можно считать равноускоренным:

$$d = \frac{at^2}{2} = \frac{qEt^2}{2m}.$$

Учитывая, что $U = Ed$, получим

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{2m}{qU}}.$$

Поскольку по условию задачи ток утечки мал, то изменением разности потенциалов между обкладками конденсатора можно пренебречь.

Ток утечки определим как

$$I = \frac{q}{t} = \frac{q}{d} \sqrt{\frac{qU}{2m}}.$$

Поскольку $m = \rho \frac{4}{3} \pi r^3$, то

$$\rho = \frac{3\epsilon_0^3 \pi^2}{d^2 I^2} U^4 \cong 2700 \text{ кг/м}^3.$$

3. Кафедра Атомных электростанций НИУ «МЭИ» первой в мире начала подготовку инженеров для атомной энергетики в 1954 году. Известно, что для осуществления управляемой цепной реакции в ядерном реакторе на “тепловых” нейтронах требуется замедление нейтронов, возникающих при делении ядерного топлива. В качестве замедлителей в реакторе используют вещества, содержащие атомы лёгких элементов: вода, графит, бериллий и др. Объясните, с чем связан такой выбор и постройте график зависимости относительной потери энергии нейтрона $\Delta W/W_0$ от M/m . Столкновение нейтрона массой m и энергией W_0 с неподвижным ядром вещества замедлителя массой M можно считать абсолютно упругим центральным ударом.

Решение:

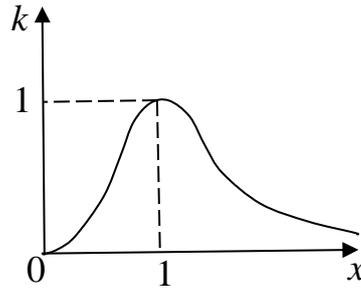
Обозначим $M = xm$, $W_0 = \frac{mv^2}{2}$.

$$\begin{cases} \frac{mv^2}{2} = \frac{mv'^2}{2} + \frac{xmV'^2}{2} \\ mv = mv' + xmV' \end{cases}$$

$$\begin{cases} v^2 - v'^2 = xV'^2 \\ v - v' = xV' \\ v + v' = V' \\ v - v' = xV' \\ 2v = (x + 1)V' \\ V' = \frac{2v}{x + 1} \end{cases}$$

$$\Delta W = \frac{xmV'^2}{2} = \frac{xm}{2} \cdot \left(\frac{2v}{x+1}\right)^2 = \frac{4x}{(x+1)^2} \cdot \frac{mv^2}{2} = \frac{4x}{(x+1)^2} \cdot W_0 \equiv kW_0$$

Функция $k(x)$ имеет достигает максимума при $x_m = 1$.



В нашем случае $x > 1$, значит передача энергии падает с ростом M .

4. Некоторое количество аргона находится в вертикальном цилиндрическом сосуде под массивным поршнем, который плотно прилегает к стенкам сосуда. К центру поршня сверху прикреплена пружина, соединенная другим концом с крышкой сосуда. Первоначально газ находился в таком состоянии, что пружина не была деформирована. После того, как газу сообщили количество теплоты $Q = 760$ Дж, его объем увеличился в 2 раза, а давление увеличилось в 3 раза. Определите энергию упругой деформации пружины в конечном состоянии. Поршень перемещается без трения, крышка сосуда негерметична.

Решение.

На поршень в сосуде действуют 4 силы: сила давления газа (вверх), сила упругости пружины, сила тяжести (вниз) и сила атмосферного давления (вниз).

При отсутствии газа в сосуде ($p_{\text{газа}} = 0$) можно определить статическое удлинение пружины:

$$k\Delta x_0 = mg + p_{\text{атм}}S, \text{ поэтому } k = \frac{mg + p_{\text{атм}}S}{\Delta x_0} = \frac{F}{\Delta x_0}. \quad (*)$$

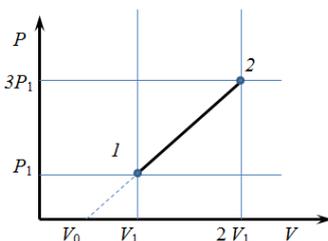
Это удлинение соответствует состоянию, когда объем системы под поршнем равен V_0 .

При нагревании газа и сжатии пружины на Δx , работы сил связаны уравнением

$$A_{\text{газа}} = A_{\text{упр}} + A_{\text{mg}} + A_{\text{атм}} = W_{\text{упр}} + A_F = \frac{k\Delta x^2}{2} + F\Delta x, \quad (**)$$

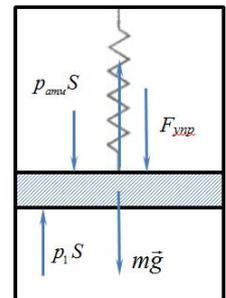
поскольку сила $F = mg + p_{\text{атм}}S$ является постоянной.

Построим график изменения состояния газа в (p, V) -диаграмме:



Применим 1 начало термодинамики к процессу:

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



Олимпиада школьников «Надежда энергетики». Заключительный этап.

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1); Q = A_{\text{газа}} + \Delta U = 2(p_2 V_2 - p_1 V_1) + \frac{1}{2} (p_1 V_2 - p_2 V_1) \quad (***)$$

$V_2 = 2V_1, p_2 = 3p_1$, из графика $V_0 = \frac{1}{2} V_1$, тогда $\Delta x_0 = \frac{1}{2} \frac{V_1}{S}, \Delta x = 2\Delta x_0$. Тогда из (*) и (**)

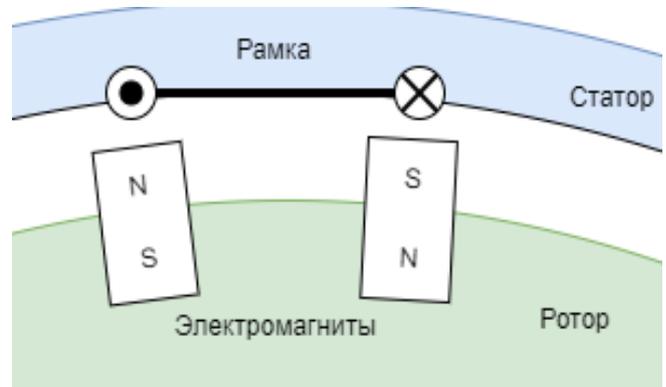
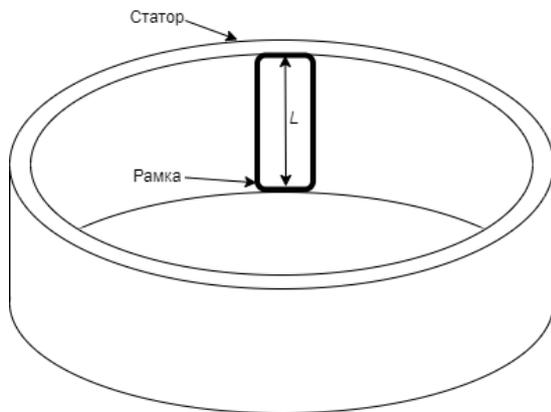
$$A_{\text{газа}} = \frac{k\Delta x^2}{2} + F\Delta x = \frac{1}{2} \frac{F}{\Delta x_0} (2\Delta x_0)^2 + F \cdot 2\Delta x_0 = F \cdot 2\Delta x_0 + F \cdot 2\Delta x_0. \text{ Отсюда видно, что } W_{\text{упр}} = A_F,$$

поэтому $W_{\text{упр}} = \frac{1}{2} A_{\text{газа}}.$

Из (***) $Q = \frac{19}{2} p_1 V_1, A_{\text{газа}} = 2p_1 V_1$. Поэтому $A_{\text{газа}} = \frac{4}{19} Q$

$Q = 760 \text{ Дж}, W_{\text{упр}} = \frac{2}{19} Q = \frac{2}{19} \cdot 760 = 80 \text{ Дж}.$

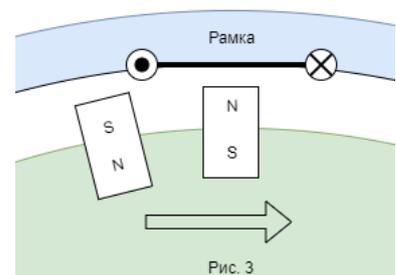
5. Гидрогенератор на ГЭС устроен следующим образом: в статоре генератора размещены прямоугольные рамки, состоящие из нескольких витков толстого медного провода, как показано на рис.1. На вращающемся внутри статора роторе генератора закреплены электромагниты, расположенные так, чтобы при вращении ротора северный и южный полюса соседних магнитов одновременно находились напротив вертикальных сторон одной и той же рамки (см. рис. 2). В статор вмонтировано $n = 24$ последовательно соединенных рамки, модуль магнитной индукции однородного магнитного поля в зазоре между полюсами магнитов и статором равен $B = 1 \text{ Тл}$, радиус ротора $R = 3 \text{ м}$, ротор вращается с частотой $\nu = 120 \text{ об/мин}$. Каждая рамка содержит $N = 10$ витков и, так же как и полюса всех магнитов, имеет высоту $L = 1 \text{ м}$. Определите максимальное напряжение на выходе такого генератора. Толщиной воздушного зазора между ротором и статором можно пренебречь.



Решение:

Способ 1.

Пусть b – поперечный размер рамки. Тогда площадь рамки, пронизываемая магнитным полем, равна $S = L \cdot b$. Если северный магнитный полюс при вращении ротора сместится и его место займет южный магнитный полюс соседнего электромагнита (см. рис. 3), то магнитный поток изменит знак на противоположный. В среднем, изменение магнитного потока при этом будет равно



Олимпиада школьников «Надежда энергетики». Заключительный этап.

$$\Delta\Phi = 2BSN = 2BLbN.$$

Таким образом, абсолютная величина ЭДС индукции, генерируемая в одной рамке будет равна

$$\mathcal{E} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{2BLbN}{\Delta t}.$$

При этом величина $\frac{b}{\Delta t}$ является линейной скоростью вращения магнитных полюсов. Если учесть, что скорость связана с частотой вращения как

$$V = 2\pi\nu R,$$

и что в статоре вмонтировано n последовательно соединенных рамок, то напряжение на генераторе будет равно

$$U = n\mathcal{E} = 2nBLVN = 4\pi\nu nRBLN = 4\pi \cdot 2 \cdot 24 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 10 \approx 18 \text{ кВ}.$$

Способ 2.

ЭДС можно найти, представив, что вращается не ротор, а статор, т. е. противоположные вертикальные стороны рамки движутся в однородном магнитном поле противоположных полюсов с постоянной скоростью $V = 2\pi\nu R$, что обеспечивает сонаправленное протекание индукционного тока. Для движения проводника в однородном магнитном поле известна формула $\mathcal{E} = VBL$. Поэтому, с учетом возникновения ЭДС в обеих сторонах рамки, запишем

$$\mathcal{E} = 2BLVN,$$

Дальнейшее решение идентично способу 1.