Олимпиада школьников «Надежда энергетики». Заключительный этап. Очная форма.

ЗАДАНИЕ ПО ФИЗИКЕ
ВАРИАНТ 27791 для 9-го класса

1.9. На Открытой московской инженерной конференции школьников «Потенциал», которая ежегодно проходит в НИУ «МЭИ», учащиеся 9-го класса демонстрировали экспериментальную установку для изучения законов идеального газа. В вертикальном сосуде они поместили тяжёлый поршень, который мог перемещаться практически без трения. Под поршнем в сосуде находился воздух, давление которого отличалось от атмосферного. В начальный момент поршень был закреплён. После освобождения поршня он начинал перемещаться с некоторым ускорением. Школьники пытались определить, изменится ли величина этого ускорения, если на поршень положить груз. Какой результат они получили? Объясните свой ответ.

Решение:

Если давление газа в начальный момент больше атмосферного, то ускорение поршня меньше ускорения свободного падения

$$a_1 = \frac{mg - (p_{газа} - p_{атм})S}{m}$$ *, где S - сечение сосуда.*

Ускорение может быть направлено как вниз, так и вверх. Если добавить груз, то

$$a_2 = g - \frac{(p_{газа} - p_{атм})S}{m+M}$$ *, где M – масса груза.*

Очевидно, что ускорения различны.

Если давление газа в начальный момент меньше атмосферного, то ускорение поршня больше ускорения свободного падения

$$a_3 = g + \frac{(p_{атм} - p_{газа})S}{m}.$$

Если в этом случае на поршне находился груз, то груз, который под действием силы тяжести движется с ускорением свободного падения, отстает от поршня и ускорение поршня не изменяется.

2.9. При передаче электроэнергии во высоковольтной линии (ЛЭП) от гидроэлектростанции к потребителю существует понятие натуральной мощности – такой полезной мощности, при которой потери энергии в линии минимальны и сводятся только к потерям на нагревание проводов. Так, натуральная мощность для ЛЭП, работающей под напряжением U_1 = 500 кВ равна P_1 = 900 МВт, а для ЛЭП с напряжением U_2 = 750 кВ равна P_2 = 2100 МВт. Как правило, в линиях на 500 кВ энергию передают по трем параллельно соединенным проводам одинакового сечения, а в линиях на 750 кВ – по пяти проводам такого же сечения. Определите, во сколько раз уменьшатся потери энергии при переходе с ЛЭП 500 кВ на ЛЭП 750 кВ, если и в том и в другом случае по линии передается натуральная мощность на одно и то же расстояние.

Решение:

Натуральная мощность является полезной мощностью, прошедшей через ЛЭП к потребителю

$$P = IU, \qquad (1)$$

где I – сила тока в линии.

Потери определяются законом Джоуля-Ленца

$$P_{пот} = I^2 R = I^2 \frac{\rho L}{NS}, \qquad (2)$$

где L – длина линии, N – количество запараллеленых проводников, S – площадь сечения одного проводника.

Выражая силу тока из (1) и подставляя в (2), получаем

$$P_{пот} = \left(\frac{P}{U}\right)^2 \frac{\rho L}{NS}.$$

Таким образом, отношение потерь в линиях равно

$$\frac{P_{пот2}}{P_{пот1}} = \left(\frac{P_2}{P_1}\frac{U_1}{U_2}\right)^2 \frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{2100 \cdot 500}{900 \cdot 750}\right)^2 \cdot \frac{3}{5} = \left(\frac{14}{9}\right)^2 \cdot \frac{3}{5} \approx 1{,}45$$

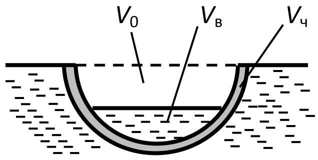
Ответ: в 1,45 раза

3.9. Чашка массой m = 400 г вмещает V = 600 мл воды. В начале опыта пустая чашка плавает на поверхности воды. В чашку тонкой струйкой наливают воду. Чашка тонет, когда её заполняют на 2/3 объема. Определите плотность материала, из которого изготовлена чашка. Плотность воды равна 1000 кг/м^3. В ответе приведите формулу для определения плотности материала чашки в общем виде.

Решение:

Обозначим: объем материала чашки как $V_ч$,
объем налитой в чашку воды,
когда она начинает тонуть, как $V_в$,
объем чашки, не заполненный водой, как V_0.

Тогда: $m_ч = \rho_ч V_ч$, $m_в = \rho_в V_в$.



Условие плавания непосредственно перед началом погружения чашки: $F_A = (m_в + m_ч)g$.

Перед началом погружения чашка вытесняет из воды объем $V_ч + V_0$, следовательно, $(V_ч + V_0)\rho_в g = (m_в + m_ч)g$

$$\left(\frac{m_ч}{\rho_ч} + V_0\right)\rho_в = V_в\rho_в + m_ч$$

$$\rho_в (V_0 - V_в) = m_ч - m_ч \frac{\rho_в}{\rho_ч}$$

$$\rho_в (V_0 - V_в) = m_ч \left(1 - \frac{\rho_в}{\rho_ч}\right)$$

$$\frac{\rho_в}{m_ч}(V_0 - V_в) = 1 - \frac{\rho_в}{\rho_ч}$$

$$\frac{V_0 - V_в}{m_ч} = \frac{1}{\rho_в} - \frac{1}{\rho_ч}$$

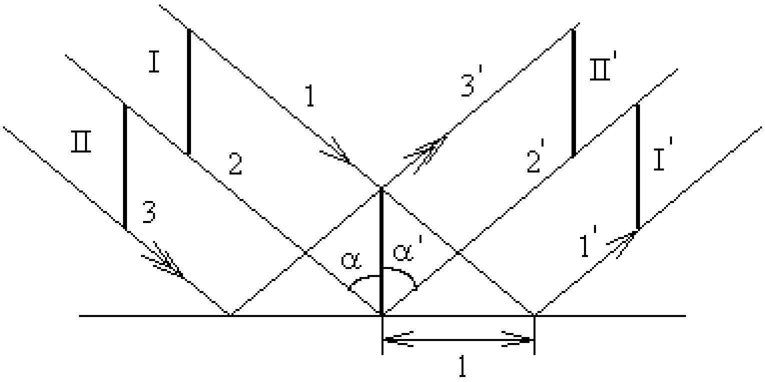
$$\frac{1}{\rho_ч} = \frac{1}{\rho_в} - \frac{V_0 - V_в}{m_ч}$$

$$\rho_ч = \frac{m_ч \rho_в}{m_ч - \rho_в (V_0 - V_в)} = \frac{0{,}4 \cdot 10^3}{0{,}4 - 10^3 (0{,}6 - 0{,}4) \cdot 10^{-3}} = 2000 \text{ кг/м}^3.$$

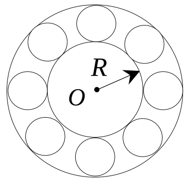
4.9. Через небольшое окно в южной стене в темную комнату проходит пучок солнечного света, параллельный восточной и западной стенам, и попадает на большое горизонтальное плоское зеркало, лежащее на столе. На зеркале вертикально укреплён непрозрачный квадрат, который отбрасывает тень на северную стену. Определите площадь тени, если длина стороны квадрата 9 см.

Решение:

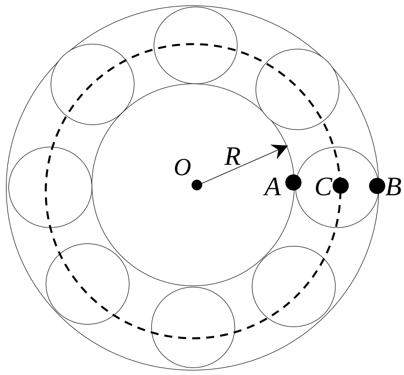
Как видно из рисунка, квадрат отбрасывает тень как в падающем на него пучке, ограниченном лучами 1 и 2, так и в отраженном от зеркала пучке, ограниченном лучами 2′ и 3′. Поскольку при падении любого луча на зеркало угол падения α *равен углу отражения* α'*, то размеры каждого пучка в вертикальном направлении остаются неизменными. Не изменит своей длины в отбрасываемой квадратом тени и его сторона, лежащая в плоскости стола. Следовательно, тень квадрата будет представлять собой два примыкающих друг к другу квадрата, а суммарная площадь тени равна* $S_т = 2\cdot 9\cdot 9 = 162$ *(см^2).*



5. 9. Внутреннее кольцо шарикоподшипника радиусом R=4 см закреплено на оси O токарного станка. Внешнее кольцо подшипника закреплено неподвижно на корпусе станка. Шарики подшипника имеют радиус r=1 см и катятся по внутреннему и внешнему кольцам без проскальзывания. Сколько оборотов вокруг оси O сделают шарики за время одного оборота внутреннего кольца?



Решение.



Введём следующие обозначения:
Ω – угловая скорость вращения оси станка, v – линейная скорость движения центра шарика, ω_1 – угловая скорость движения центра шарика вокруг оси станка.
Так как качение происходит без проскальзывания, то мгновенная скорость точки B равна нулю, а мгновенная скорость точки A в две раза больше линейной скорости центра шарика C и равна линейной скорости точек поверхности внутреннего кольца. Тогда:

$$2v = \Omega R.$$

Линейную скорость центра шарика C можно записать как:

$$v = \omega_1(R + r).$$

Тогда

$$2\omega_1(R + r) = \Omega R.$$

Введем периоды обращения центрального кольца и шарика относительно оси O:

$$\begin{cases} T = \dfrac{2\pi}{\Omega} \\ T\text{ш} = \dfrac{2\pi}{\omega_1} \end{cases}$$

$$N = \frac{\text{T}}{\text{Tш}} = \frac{\omega_1}{\Omega} = \frac{R}{2(R + r)} = \frac{4}{2(4 + 1)} = 0{,}4 \text{ оборота}.$$