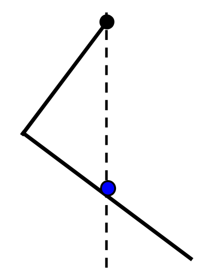
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ПОКОРИ ВОРОБЬЕВЫ ГОРЫ»
по ФИЗИКЕ
ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ (ФИНАЛЬНЫЙ) ЭТАП 2019 года

Задание 1

Вопрос: Кубик массы m покоится на очень шероховатой ($\mu \approx 1$) горизонтальной поверхности. При помощи какой минимальной силы его можно заставить начать вращение вокруг одного из своих горизонтальных ребер? Ускорение свободного падения равно g

Ответ. $F_{\min} = \frac{M_g}{l_{\max}} = \frac{mg}{2\sqrt{2}}$

Задача: Уголок, изготовленный из однородной проволоки, имеет два перпендикулярных «плеча» с длинами $l_1 \equiv a = 20$ см и $l_2 = \frac{3}{2}a = 30$ см. Его повесили за конец короткого плеча на шарнирном подвесе (который позволяет ему свободно вращаться в вертикальной плоскости вдоль стенки, не касаясь ее). Затем в стену на одной вертикали с подвесом вбили горизонтально гладкий гвоздь – так, что теперь уголок опирается на гвоздь серединой длинного плеча. Во сколько раз и как изменилась из-за появления гвоздя величина силы, с которой уголок действует на подвес?



Правило моментов (с учетом однородности уголка массы m): $\frac{2m}{5} g \frac{a}{2} \sin(\alpha) - N \frac{3a}{4} = 0 \Rightarrow N = \frac{4mg}{25}$

$$\left\{ \begin{aligned} F_x &= N \sin(\alpha) = \frac{12mg}{125} \\ F_y &= mg + N \cos(\alpha) = \frac{141mg}{125} \end{aligned} \right\} \Rightarrow F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \frac{3\sqrt{89}}{25} mg$$

Ответ: изменилась в $\frac{3\sqrt{89}}{25} \approx 1{,}13$ раза.

Задание 2

Вопрос: Как связаны между собой изменение внутренней энергии одноатомного идеального газа и полученное им количество теплоты в изобарном процессе?

Ответ: $Q = \frac{5}{3}\Delta U$

Задача: ν = 2 моля одноатомного идеального газа находится в теплоизолирующем вертикальном цилиндре с подвижным поршнем площадью S и массой m. Дно цилиндра равномерно заряжено зарядом q, а поршень — зарядом $(-q)$. Расстояние между дном сосуда и поршнем намного меньше диаметра цилиндра. Газ медленно получает от нагревателя количество теплоты Q. На какое расстояние при этом сдвинется поршень? Считайте, что электрическое поле остается однородным, трения нет. Диэлектрическая проницаемость газа равна единице, электрическая постоянная ε_0, ускорение свободного падения g, давление над поршнем равно p_0.

$$F_{эл} = | q_- | E_+ = \frac{q^2}{2\varepsilon_0 S}$$

$$p = p_0 + \frac{mg + q^2/(2\varepsilon_0 S)}{S}$$

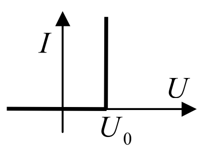
$$Q = \frac{5}{2}A \Rightarrow pS \cdot \Delta h = \frac{2}{5}Q$$

Ответ: $\Delta h = \frac{4}{5}\frac{\varepsilon_0 Q S}{2\varepsilon_0 (p_0 S^2 + mgS) + q^2}$.

Задание 3

Вопрос: Допустим, что для некоторого элемента цепи связь тока с приложенным напряжением дается уравнением $I = f(U)$, где f – известная функция. Как нужно рассчитывать мощность, которую будет потреблять этот элемент при подключении к клеммам источника с ЭДС ε и внутренним сопротивлением r?

Ответ: $P = U \cdot f(U)$.



Задача: К источнику постоянной ЭДС подключают гирлянду из последовательно соединенных резистора и n одинаковых светодиодов, вольт-амперная характеристика которых показана на рисунке ($U_0 = 1$ В). Если включить в гирлянду $n_1 = 10$ светодиодов, то полная потребляемая ими мощность составит $P_1 = 175$ Вт, если включить $n_2 = 28$ светодиодов, то $P_2 = 238$ Вт. Определите «оптимальное» число светодиодов, при котором потребляемая мощность максимальна, а сила тока через каждый из светодиодов – минимальна (из возможных при этой мощности). Найти максимальную потребляемую мощность. Чему равна ЭДС источника?

$I = \dfrac{\varepsilon - n \cdot U_0}{R}$ (R – сопротивление источника).

$P = nU_0 I = nU_0 \dfrac{\varepsilon - n \cdot U_0}{R} \equiv P_0 \cdot n(\bar{n} - n)$. (где $P_0 \equiv \dfrac{U_0^2}{R}$ и $\bar{n} \equiv \dfrac{\varepsilon}{U_0}$).

$P_1 = P_0 \cdot n_1(\bar{n} - n_1)$ и $P_2 = P_0 \cdot n_2(\bar{n} - n_2)$, получаем $\bar{n} = \dfrac{n_2^2 P_1 - n_1^2 P_2}{n_2 P_1 - n_1 P_2} = 45$. $\varepsilon = \bar{n} U_0 = 45$ В

максимум мощности достигается при $n = 22$ и $n = 23$. «Оптимальному» режиму соответствует $n_{опт} = 23$. Максимальная мощность $P_m = P_1 \cdot \dfrac{n_{опт}(\bar{n} - n_{опт})}{n_1(\bar{n} - n_1)} = \dfrac{253}{175} P_1 = 253$ Вт

Ответ: $P_m = P_1 \cdot \dfrac{n_{опт}(\bar{n} - n_{опт})}{n_1(\bar{n} - n_1)} = \dfrac{253}{175} P_1 = 253$ Вт.

Задание 4

Вопрос: При выполнении каких условий линзу можно считать «тонкой»?

Ответ: диаметр линзы должен быть много меньше радиусов кривизны ограничивающих ее сферических поверхностей; все рассматриваемые лучи должны быть параксиальными.

Задача: Предмет и его прямое изображение располагаются на оси тонкой линзы перпендикулярно этой оси и симметрично относительно одного из фокусов линзы. Расстояние между предметом и изображением $l = 20$ см. Чему может равняться фокусное расстояние линзы?

Линза рассевающая: $a = |F| + \frac{l}{2}$, а $|b| = |F| - \frac{l}{2}$.

$$\frac{1}{|F| + \frac{l}{2}} - \frac{1}{|F| - \frac{l}{2}} = -\frac{1}{|F|} \Rightarrow |F|^2 - l|F| - \frac{l^2}{4} = 0.$$

$$|F| = \frac{(\sqrt{2}+1)l}{2} \approx 24{,}14\,\text{см}$$

Линза собирающая: $a = F - \frac{l}{2}$, а $|b| = F + \frac{l}{2}$.

$$F = \frac{(\sqrt{2}+1)l}{2} \approx 24{,}14\,\text{см}.$$

Ответ: $F = \pm\frac{(\sqrt{2}+1)l}{2} \approx \pm 24{,}14$ см.