

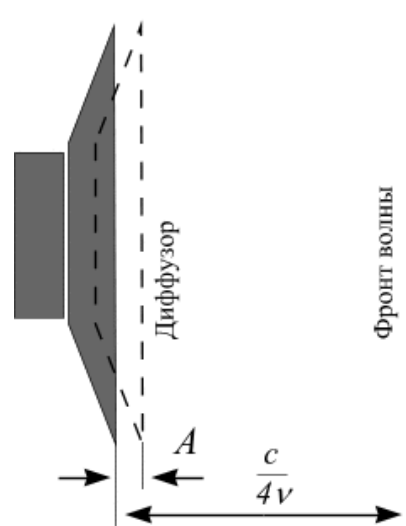
Решения заданий заключительного этапа
олимпиады «Бельчонок» по физике

11 класс

Вариант 1

- Предположим, что сила трения между протектором колес и поверхностью дороги одинакова для всех четырех колес. Тогда полная сила трения, удерживающая автомобиль на склоне равна $F_0 = Mg \sin(\alpha) = 5 \cdot 10^3$ Н. Сила, действующая на обод одного колеса равна $F_1 = (5/4) \cdot 10^3$ Н. Сила, действующая на тормозной диск, в два раза больше, чем на обод колеса, так как их радиусы отличаются в два раза: $F_2 = 2F_1 = (5/2) \cdot 10^3$ Н. Сила трения одной колодки о диск, в два раза меньше, так как прижимающихся колодок две: $F_3 = F_1 = (5/4) \cdot 10^3$ Н. Эта сила равна $F_3 = \mu N$. Здесь прижимающая сила $N = F_3 / \mu \approx (5/0.8) \cdot 10^3$ Н. Такая же сила действует на поршень в цилиндре 2 (так как диаметры цилиндров одинаковы). Сила, прикладываемая ногой к педали, меньше силы, испытываемой поршнем в четыре раза, так как длины рычагов до упора отличаются в четыре раза: $F = N/4 \approx 1.6 \cdot 10^3$ Н. Это соответствует усилию в 160 кг, что очень много. Поэтому в автомобилях используется вакуумный усилитель тормозов.

- Рассмотрим движение диффузора из крайнего положения. Двигаясь к среднему положению, диффузор сжимает воздушный цилиндр площади S , равный его площади. За время этого движения (четверть периода колебаний) от динамика распространяется фронт звуковой волны со скоростью c . Таким образом, воздушный столб сжался от начального объема $V_0 = Sc \frac{T}{4}$ до $V = S \left(c \frac{T}{4} - A \right)$ (см. рисунок). Считая процесс распространения звука адиабатическим,



запишем: $P_0 \left(Sc \frac{T}{4} \right)^\gamma = PS \left(c \frac{T}{4} - A \right)^\gamma$, где $T = \frac{1}{\nu}$. Отсюда получим:

$$\frac{\Delta P}{P_0} \approx \left(\frac{\frac{c}{4\nu}}{\frac{c}{4\nu} - A} \right)^\gamma - 1 \approx 0.16\% . \text{ Здесь } \gamma = \frac{7}{5} - \text{показатель адиабаты воздуха.}$$

3. Клапан приоткрывается, когда давление в котле сравнивается с суммой атмосферного давления и давления, создаваемого пружиной:

$$P_0 + \frac{F_{\text{упр}}}{S} = P_0 + \frac{k\Delta x_0}{S} . \text{ Давление в котле складывается из давления воздуха и}$$

давления водяного пара: $P_0 \frac{T}{T_0} + P_n$ (воздух участвует в изохорическом

процессе). После приравнивания давления снаружи и внутри котла для давления пара получим: $P_n = P_0 + \frac{k\Delta x_0}{S} - P_0 \frac{T}{T_0} \approx 4.7 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Это значение

значительно превосходит давление насыщенного пара при температуре 400 К. Следовательно, при любом количестве воды в котле температуры 400 К не достаточно для открытия клапана.

4. По мере зарядки шара увеличивается сила электростатического отталкивания. Наконец накапливается такой заряд Q , когда усилий электродвигателя не достаточно для преодоления отталкивания. Для этого состояния запишем оценочное выражение: $\frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 R^2} = \frac{M}{r}$. Отсюда для заряда

$$\text{получим: } Q \approx \frac{4\pi\epsilon_0 R^2 M}{qr} \approx 0.03 \text{ Кл.}$$

5. Количество теплоты, получаемое от Солнца, может быть оценено по формуле: $E \approx P \frac{\pi D^2}{4} t$. Здесь t - время нагрева. Эта энергия без учета потерь тратится на нагревание воды до кипения: $Q \approx cm\Delta T$. После приравнивания энергий получим: $t \approx \frac{4cm\Delta T}{\pi D^2 P} \approx 100 \text{ мин.}$

Решения заданий заключительного этапа
олимпиады «Бельчонок» по физике

11 класс

Вариант 2

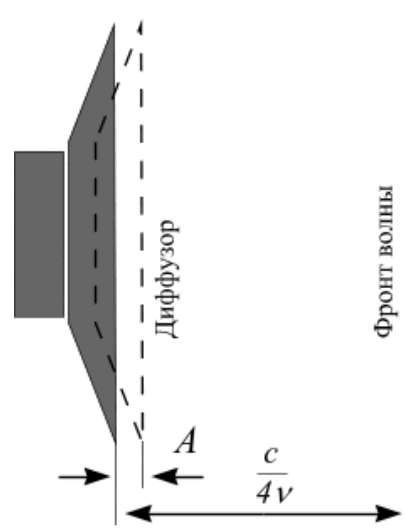
- Предположим, что сила трения между протектором колес и поверхностью дороги одинакова для всех четырех колес. Тогда полная сила трения, удерживающая автомобиль на склоне равна $F_0 = Mg \sin(\alpha) = 5 \cdot 10^3$ Н. Сила, действующая на обод одного колеса равна $F_1 = (5/4) \cdot 10^3$ Н. Сила, действующая на тормозной диск, в два раза больше, чем на обод колеса, так как их радиусы отличаются в два раза: $F_2 = 2F_1 = (5/2) \cdot 10^3$ Н. Сила трения одной колодки о диск, в два раза меньше, так как прижимающихся колодок две: $F_3 = F_1 = (5/4) \cdot 10^3$ Н. Эта сила равна $F_3 = \mu N$. Здесь прижимающая сила $N = F_3 / \mu$. Такая же сила действует на поршень в цилиндре 2 (так как диаметры цилиндров одинаковы). Сила, прикладываемая ногой к педали, меньше силы, испытываемой поршнем в четыре раза, так как длины рычагов до упора отличаются в четыре раза: $F = N/4 = F_3 / 4\mu = 1.6 \cdot 10^3$ Н. Отсюда $\mu = (5/4) \cdot 10^3 / (4 \cdot 1.6 \cdot 10^3) \approx 0.2$.

- Рассмотрим движение диффузора из крайнего положения. Двигаясь к среднему положению, диффузор сжимает воздушный цилиндр площади S , равный его площади. За время этого движения (четверть периода колебаний) от динамика распространяется фронт звуковой волны со скоростью c . Таким образом, воздушный столб сжался от начального объема $V_0 = Sc \frac{T}{4}$ до

$V = S \left(c \frac{T}{4} - A \right)$ (см. рисунок). Считая процесс распространения звука адиабатическим,

запишем: $P_0 \left(Sc \frac{T}{4} \right)^\gamma = PS \left(c \frac{T}{4} - A \right)^\gamma$, где $\gamma = \frac{7}{5}$ - показатель адиабаты воздуха,

$$T = \frac{1}{\nu}, P = 1.0016 \cdot P_0. \text{ Отсюда получим: } A = \frac{c}{4\nu} \left(1 - \left(\frac{1}{1.0016} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \right) \approx 0.1 \text{ мм.}$$



3. Клапан приоткрывается, когда давление в котле сравняется с суммой атмосферного давления и давления, создаваемого пружиной:

$$P_0 + \frac{F_{\text{упр}}}{S} = P_0 + \frac{k\Delta x_0}{S}.$$

Давление в котле складывается из давления воздуха и

давления водяного пара: $P_0 \frac{T}{T_0} + P_n$ (воздух участвует в изохорическом

процессе). После приравнивания давления снаружи и внутри котла для

давления пара получим: $P_n = P_0 + \frac{k\Delta x_0}{S} - P_0 \frac{T}{T_0} \approx 4.7 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Это значение

значительно превосходит давление насыщенного пара при температуре 400 К – максимальное возможное давление при данной температуре даже если не вся вода испарилась. Следовательно, нагрев до температуры 400 К произойдет без срабатывания клапана.

4. По мере зарядки шара увеличивается сила электростатического отталкивания. Наконец накапливается такой заряд Q , когда усилий электродвигателя не достаточно для преодоления отталкивания. Для этого

состояния запишем оценочное выражение: $\frac{Qq}{4\pi\epsilon_0 R^2} = \frac{M}{r}$. Отсюда для

момента сил получим: $M = \frac{Qqr}{4\pi\epsilon_0 R^2} \approx 0.1 \text{ Нм}$.

5. Количество теплоты, получаемое от Солнца, может быть оценено по

формуле: $E \approx P \frac{\pi D^2}{4} t$. Здесь t - время нагрева. Эта энергия без учета потерь

тратится на нагревание воды до кипения: $Q \approx cm\Delta T$. После приравнивания

энергий получим: $m \approx \frac{\pi D^2 P t}{4c\Delta T} \approx 200 \text{ гр}$.