

Шайба взаперти (15 баллов)

В закрытый теплоизолированный сосуд, содержащий $m_k = 64$ г кислорода, при температуре $T_0 = 300$ К и нормальном атмосферном давлении $p_0 = 10^5$ Па, поместили алюминиевую шайбу массой $m_{ш} = 100$ гр., нагретую до температуры $T_{ш} = 600$ К. Каким станет давление газа p_1 , когда установится тепловое равновесие? Какова температура T_1 при тепловом равновесии? Удельная теплоёмкость алюминия $c_a = 950$ Дж/(кг·К), молярная масса кислорода $M_k = 32$ г/моль.

Вариант решения

Количество теплоты, принятое кислородом при изохорном процессе: $Q = \Delta U = \frac{5}{2} \frac{m_k}{M_k} R(T_1 - T_0)$

Количество теплоты, отданное шайбой: $Q = c_a m_{ш} (T_{ш} - T_1)$

Приравнявая отданное и принятое количество теплоты, выразим T_1

$$T_1 = \frac{\frac{5}{2} \frac{m_k}{M_k} R T_0 + c_a m_{ш} T_{ш}}{\frac{5}{2} \frac{m_k}{M_k} R + c_a m_{ш}} = 505 \text{ K}$$

Давление найдем из условия изохорного процесса $p_1 = p_0 \frac{T_1}{T_0} = 1,68 \cdot 10^5$ Па

Критерии оценивания

Записано уравнение теплового баланса	– 8 баллов
Определена температура	– 3 балла
Определено давление	– 4 балла

Длинная цепочка (10 баллов)

В пробирке объемом V находится жидкое вещество. Молярная масса вещества M , а его плотность ρ . Оцените длину цепочки L , которая получится, если составить молекулы этого вещества друг на друга.

Вариант решения

Число молекул содержащихся в пробирке $N = mNa/M = \rho V Na/M$ где Na - число Авогадро

Объем одной молекулы $V_1 = V/N = M/(\rho Na)$

Для упрощения оценки представим, что молекула имеет кубическую форму с длиной ребра z .

$$\text{Тогда } z = \sqrt[3]{V_1} = \sqrt[3]{\frac{M}{\rho Na}}$$

$$\text{Длина цепочки } L = zN = V \left(\frac{\rho Na}{M} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Критерии оценивания

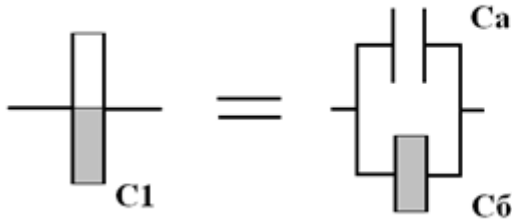
Определено число молекул	– 3 балла
Определен объем одной молекулы	– 3 балла
Приведена оценка линейных размеров молекулы	– 3 балла
Получена итоговая формула	– 1 балл

Нестабильный конденсатор (20 баллов)

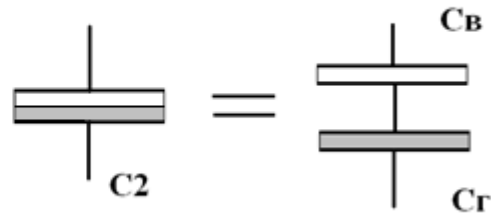
Плоский воздушный конденсатор расположен вертикально и до половины заполнен жидким диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ϵ . Во сколько раз изменится емкость конденсатора, если его повернуть на 90° так, чтобы пластины располагались горизонтально?

Вариант решения

Вертикальное расположение



Горизонтальное расположение



Эквивалент вертикального расположения конденсатора C1 - это параллельное соединение двух конденсаторов Ca и Cб с одинаковыми площадью пластины S и одинаковым расстоянием между пластинами d. Нижний конденсатор Cб заполнен диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ϵ .

$$C1 = Ca + Cб = \frac{S\epsilon_0}{d} + \frac{S\epsilon\epsilon_0}{d} = \frac{S\epsilon_0(1 + \epsilon)}{d}$$

Эквивалент горизонтального расположения конденсатора C2 - это параллельное соединение двух конденсаторов Cв и Cг с одинаковыми площадями пластины 2S и одинаковым расстоянием между пластинами d/2. Нижний конденсатор Cг заполнен диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ϵ .

$$\frac{1}{C2} = \frac{1}{Cв} + \frac{1}{Cг} = \frac{d}{4S\epsilon_0} + \frac{d}{4S\epsilon\epsilon_0} = \frac{d(1 + \epsilon)}{4S\epsilon\epsilon_0}$$

Умножая полученные выражения одно на другое получаем:

$$\frac{C1}{C2} = \frac{(1 + \epsilon)^2}{4\epsilon}$$

Критерии оценивания

Приведены эквивалентные схемы – 4 балла.

Получены выражения для емкости конденсаторов в обоих случаях – 10 баллов.

Приведено итоговое выражение - 6 баллов.

Несвободное падение (25 баллов)

Шарик диаметром d и массой M падает вблизи земли с постоянной скоростью v . Определите плотность воздуха ρ . Действием силы Архимеда и возможными «порывами» ветра пренебречь.

Вариант решения.

При постоянной скорости падения сила сопротивления воздуха равна силе тяжести: $Mg = F_{\text{соп}}$. Силу сопротивления найдем, рассматривая движения шарика внутри выделенного цилиндра. При движении шарик вытесняет воздух из цилиндра со скоростью v , совершая при этом работу по изменению кинетической энергии вытесненной массы воздуха m_v

$$A = \frac{m_v v^2}{2}$$

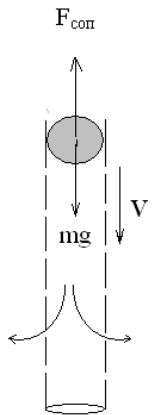
С другой стороны, работу определим как $A = F_{\text{соп}} \cdot L$, где L – расстояние, пройденное шариком.

Масса воздуха $m_v = \rho V$

Объем вытесненного воздуха $V = L \frac{\pi d^2}{4}$

Подставляя массу воздуха и объем в формулу для работы, выразим плотность воздуха:

$$\rho = \frac{8Mg}{\pi d^2 v^2}$$



Критерии оценивания

Определены выражения для работы силы сопротивления воздуха

- 10 баллов

Записаны выражение для условия равновесия и формулы необходимые для решения

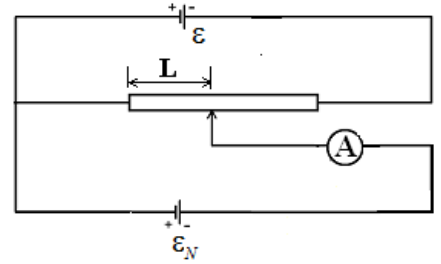
- 10 баллов

Записано окончательное выражение для плотности воздуха

- 5 баллов

Постоянство в показаниях (30 баллов)

Электрическая схема состоит из двух источников с ЭДС первого ε и ЭДС второго ε_N , реохорда и амперметра, как показано на рисунке. В случае, когда левое плечо реохорда соответствует $L_1=15$ см, амперметр показывает силу тока $I=0$ А. В какую сторону и насколько необходимо сдвинуть движок реохорда, при замене ЭДС $\varepsilon_{N1}=10$ В на ЭДС $\varepsilon_N=5$ В, чтобы амперметр снова показывал значение тока $I=0$ А?



Вариант решения

Амперметр показывает $I=0$ когда напряжение на ε_N такое же как напряжение между точками ВС. В первом случае $\varepsilon_{N1}=U_{BC}=I_1 R_1=I_1 \rho L_1/S$

Во втором случае $\varepsilon_{N2}=U_{BC}=I_2 R_2=I_2 \rho L_2/S$

$$\frac{\varepsilon_{BC1}}{\varepsilon_{BC2}} = \frac{I_1 L_1}{I_2 L_2}$$

Ток по ветке содержащей амперметр в обоих случаях не идет, следовательно, $I_1 = I_2$

$$L_2 = L_1 \frac{\varepsilon_{N2}}{\varepsilon_{N1}} = 7,5 \text{ см.}$$

Движок реохорда нужно сдвинуть влево на 7,5 см.

Критерии оценивания

Показано условие $\varepsilon_{N2}=U_{BC}$

– 9 баллов

Показано, что ток через реохорд одинаковый

– 9 баллов

Приведен правильный ответ

– 12 баллов

