

$$\operatorname{tg} 2\alpha \approx 2\alpha \approx \Delta r / l; \Rightarrow \alpha \approx \Delta r / 2l \approx 0.5 \cdot 10^{-2}$$

Как видно из рисунка

$$x = r_l \cos \alpha \approx r_l (1 - \alpha^2 / 2)$$

Таким образом диаметр шарика примерно равен 2 см (немного меньше).

10-1. Как следует из схемы цепи до замыкания ключа потенциалы всех шариков относительно бесконечности или относительно заземленной положительной пластины источника питания одинаковы и равны

$$\varphi_1 = \varphi_2 = \dots = \varphi_{N+1} = -U_0 \quad (1)$$

Учитывая, что емкость уединенного шара

$$C = 4\pi\epsilon_0 R$$

(по условию можем считать каждый шарик уединенным), для заряда системы получаем

$$Q = \sum_{i=1}^{N+1} Q_i = \sum_{i=1}^{N+1} (4\pi\epsilon_0 r \varphi_i) = 4\pi\epsilon_0 r \sum_{i=1}^{N+1} \varphi_i = -4\pi\epsilon_0 r U_0 (N+1). \quad (2)$$

После замыкания цепи распределение потенциалов изменится в соответствии с законом Ома. Действительно, ток в цепи

$$I = \frac{U_0}{NR} \quad (3)$$

Соответственно, падение напряжения на каждом резисторе

$$U_1 = IR = \frac{U_0}{N} \quad (4)$$

Из (4) следует, что потенциалы шариков будут возрастать на U_1 при переходе через каждый резистор

$$-U_0; -U_0 + U_0 / N; -U_0 + 2U_0 / N; \dots; -U_0 / N; 0$$

Соответственно, новый заряд

$$Q^* = \sum_{i=1}^{N+1} (4\pi\epsilon_0 r \varphi_i) = -4\pi\epsilon_0 r \sum_{i=1}^{N+1} \frac{U_0}{N} (i-1) = -4\pi\epsilon_0 r \frac{U_0}{N} (1+2+\dots+N) = -2\pi\epsilon_0 r U_0 (N+1)$$

Таким образом, искомый заряд изменился на

$$\Delta Q = Q^* - Q = 2\pi\epsilon_0 r U_0 (N+1) \quad (5)$$

Как следует из (5) суммарный заряд всех шариков возрастет (но уменьшится по абсолютной величине), что легко объяснить, если

принять во внимание что потенциалы всех шариков за исключением крайнего слева при замыкании ключа возрастут.

10-2. Определим какое количество теплоты потребуется, чтобы ν_2 молей твердой углекислоты испарилось в данных условиях. Согласно первому закону термодинамики

$$Q = \nu_2 \mu r + Mgh,$$

где μ - молярная масса углекислоты, Mgh - работа газа по поднятию поршня. Используя уравнение состояния идеального газа, запишем

$$PV_0 = \nu_1 RT_c$$

$$PV_1 = (\nu_1 + \nu_2)RT_c$$

отсюда следует

$$Mgh = P(V_1 - V_0) = \nu_2 RT_c,$$

тогда искомое количество теплоты

$$Q = \nu_2 (\mu r + RT_c).$$

Так как не известно, испарится ли весь «сухой лед», подсчитаем какое количество теплоты потребуется для полного его испарения, полагая $\nu_2 = 0.10 \text{ моль}$ (что соответствует 4.4 грамм), получим $Q \approx 234 \text{ Дж}$, что меньше, чем подведенное количество теплоты, поэтому весь лед испарится, а оставшееся количество теплоты пойдет на нагревание газа. Запишем еще раз уравнение первого начала термодинамики

$$Q = mr + Mgh + \frac{5}{2} R(\nu_2 + \nu_1)(T - T_c),$$

где T - конечная температура газа.

Совершенную работу найдем с помощью уравнения состояния

$$Mgh = P\Delta V = (\nu_1 + \nu_2)RT - \nu_1 RT_c,$$

Из этих уравнений легко находим

$$T = \frac{Q - mr + \nu_1 RT_c + \frac{5}{2}(\nu_1 + \nu_2)RT_c}{\frac{7}{2}(\nu_1 + \nu_2)R} \approx 200 \text{ K}.$$

10-3. См. решение №4 для 9 класса.

10-4-1. В инерциальной системе отсчета (ИСО) относительно Земли жук движется с угловой скоростью