

5. Поскольку цилиндр является гладким и его ось вертикальна, после отпущения поршня и установления в цилиндре термодинамического равновесия давление газа p_k должно компенсировать действие сил тяжести на поршень (по условию задачи, давление вне цилиндра равно нулю): $p_k S = Mg$.

На основании уравнения Клапейрона–Менделеева находим объем, занимаемый газом после установления нового равновесного состояния: $V_k = \nu RT_k / p_k$, где R – универсальная газовая постоянная, а T_k – конечная температура неона. Следовательно, высота, на которой будет находиться поршень в конечном состоянии, больше первоначальной на величину $h = (V_k - V) / S$.

Как известно, неон (как и любой инертный газ) является одноатомным газом. Внутренняя энергия моля идеального одноатомного газа равна $U = 1,5RT$ и не зависит от его объема.

На основании закона сохранения энергии можно записать $1,5\nu R(T_k - T_0) = -Mgh$. Решая это уравнение с учетом составленных ранее соотношений, находим, что температура неона после установления нового равновесного состояния равна

$$T_k = \frac{3T_0}{5} + \frac{2MgV}{5\nu RS}.$$

Из этого выражения следует, что поршень после отпущения не будет двигаться и температура неона не изменится, если в исходном состоянии $MgV = \nu RST_0$. Если же $MgV < \nu RST_0$, температура неона в конечном состоянии должна быть меньше первоначальной, а поршень должен был подняться вверх. В противном случае, конечная температура неона должна быть больше первоначальной. При этом увеличение внутренней энергии неона обусловлено работой над ним со стороны поршня, который в конечном состоянии должен оказаться на высоте, меньшей первоначальной.

6. Согласно приведенному графику температура газа на участке 1–2 повышается. Следовательно, газ на этом участке получает от нагревателя тепло в количестве

$Q_{12} = 11\nu R(T_2 - T_1) / 6$, где ν – количество молей газа. На участках 2–3 и 3–1 газ отдает холодильнику количество теплоты

$$Q_{23} = 1,5\nu R(T_2 - T_3) + 2,5\nu R(T_3 - T_1) = \nu R(1,5T_2 + T_3 - 2,5T_1),$$

где T_3 – температура газа в точке 3.

Полагая, что КПД машины, работающей по указанному циклу, равен КПД цикла, можно утверждать, что

$$\eta = 1 - \frac{Q_{23}}{Q_{12}} = \frac{4T_1 + 2T_2 - 6T_3}{11(T_2 - T_1)}.$$

Учитывая, что $n = T_2 / T_1$, находим

$$T_3 = \frac{4 + 2n - 11(n-1)\eta}{6} T_1.$$

По условию задачи, используемый в качестве рабочего тела газ является идеальным одноатомным. Поскольку на участке 2–3 молярная теплоемкость газа равна $1,5R$, можно утверждать, что на этом участке газ охлаждался изохорически, значит, отношение давлений газа в точках 2 и 3 равно отношению температур газа в этих точках. На участке 3–1 молярная теплоемкость газа равна $2,5R$. Поэтому охлаждение газа на этом участке должно происходить изобарически, т.е. при неизменном давлении, а потому $p_1 = p_3$. Следовательно, искомое отношение давлений равно

$$x = \frac{p_2}{p_1} = \frac{p_2}{p_3} = \frac{T_2}{T_3} = n \frac{T_1}{T_3} = \frac{6n}{4 + 2n - 11(n-1)\eta}.$$

7. Согласно классической теории, электропроводность металлов обусловлена наличием в них свободных электронов, кото-

рые под действием постоянного электрического поля дрейфуют с постоянной скоростью в направлении, противоположном направлению этого поля. Поэтому, если обозначить концентрацию свободных электронов n , величину скорости дрейфа v , модуль заряда электрона e , а площадь поперечного сечения проводника S , то сила тока I , текущего по проводнику, равна $I = envS$.

Как известно, сопротивление однородного проводника длиной L и площадью поперечного сечения S равно $R = \rho L / S$, где ρ – удельное сопротивление материала проволоки. Учитывая, что проволоки изготовлены из одного и того же материала с малым температурным коэффициентом, следует считать удельные сопротивления проволок неизменными и одинаковыми.

При параллельном подключении проволок к аккумулятору с ЭДС \mathcal{E} в каждой из них течет ток $I_i = \mathcal{E} / R_i$, или $envS_i = \mathcal{E} S_i / (\rho L_i)$, где v – скорость дрейфа носителей в этом случае. Из этого выражения следует, что обе проволоки имеют одну и ту же длину L .

При последовательном соединении проволок сила тока в проволоках должна быть одинаковой и равной

$I = env_1 S_1 = en(v/k) S_1 = env_2 S_2$, так как скорость дрейфа носителей в первой проволоке во втором случае в k раз меньше, чем в первом случае. С другой стороны, при последовательном соединении должно выполняться соотношение

$$\mathcal{E} = I(R_1 + R_2) = I\rho L(S_1^{-1} + S_2^{-1}) = en\rho L(v_1 + v_2) = en\rho Lv.$$

Следовательно, $v_2 = (k-1)v_1$, а искомое отношение диаметров проволок равно

$$x = \frac{d_1}{d_2} = \sqrt{\frac{S_1}{S_2}} = \sqrt{\frac{v_2}{v_1}} = \sqrt{k-1} = 2.$$

8. На движущиеся в магнитном поле вместе с проволокой свободные носители заряда действует сила Лоренца, равная $F_{Л} = qvB$, где q – заряд носителя, и направленная перпендикулярно скорости носителя и индукции магнитного поля. Под действием этой силы происходит перераспределение зарядов, в результате чего возникает электрическое поле, стремящееся скомпенсировать действие силы Лоренца. При установившемся движении в каждой точке проволоки должно существовать электрическое поле, напряженность которого равна $E = F_{Л} / q = vB$ и направлена против силы Лоренца. Поэтому точки, лежащие в поперечном сечении проволоки, не будут эквипотенциальными. Однако, считая проволоку достаточно тонкой, разностью потенциалов между точками одного и того же поперечного сечения можно пренебречь. Вместе с тем, можно утверждать, что на участке проволоки, находящемся между цилиндрами с радиусами R и r , будет существовать электрическое поле, величина составляющей которого, направленной по радиусу цилиндра, равна

$E(\rho) = v(\rho)B = v\rho B / R$, где ρ – удаление точки провода от оси вращения. На рисунке 25 приведена зависимость величины этой составляющей от ρ . Приращение разности потенциалов между столь близкими точками, находящимися на расстоянии $\Delta\rho$ в направлении действия поля, что напряженность поля $E(\rho)$ между ними можно считать постоянной, равно

$\Delta\phi(\rho, \rho + \Delta\rho) = -E(\rho)\Delta\rho$. Тогда получим, что искомая разность потенциалов должна быть равна

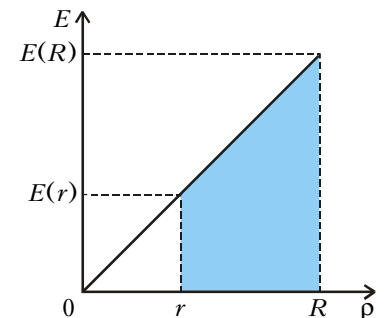


Рис. 25