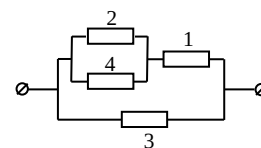


## Решения и критерии оценивания

1. Очевидно, что данную цепь с помощью деформации проводов, которая, конечно, не меняет ее сопротивление, можно привести к виду, показанному на рисунке. Сопротивление нижнего участка равно  $r$ , верхнего -  $3r/2$ . Поэтому



ток в верхнем участке (через сопротивление 1) будет составлять  $2/3$  от тока в нижнем. Между сопротивлениями 2 и 4 верхний ток поделится пополам. Поэтому ток через сопротивление 2 будет составлять  $1/3$  от тока через сопротивление 3. Поэтому по закону Джоуля-Ленца заключаем, что

$$\frac{P_2}{P_3} = \frac{1}{9} = 0,11.$$

**Критерии оценки решения задачи (максимальная оценка за решение – 5 баллов)**

1. Правильно нарисована эквивалентная цепь – 1 балл
2. Правильно найдены сопротивления участков этой цепи – 1 балл
3. Правильно найдены токи через резистор 2 и резистор 3 – 1 балл
4. Правильно использован закон Джоуля-Ленца – 1 балл
5. Правильный ответ – 1 балл

Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

2. Пусть масса всего тела равна  $m$ , объем  $V$ . Тогда для плотности первой части имеем

$$\rho_1 = \frac{m/4}{V/3} = \frac{3}{4} \frac{m}{V} \quad (*)$$

Но отношение всей массы ко всему объему – средняя плотность тела. Отсюда находим

$$\rho_1 = \frac{3}{4} \rho_{cp} \quad \Rightarrow \quad \rho_{cp} = \frac{4}{3} \rho_1.$$

Для плотности второй части имеем

$$\rho_2 = \frac{3m/4}{2V/3} = \frac{9}{8} \frac{m}{V}$$

Используя теперь формулу (\*) получаем

$$\rho_2 = \frac{3}{2} \rho_1$$

**Критерии оценки задачи (максимальная оценка за задачу – 5 баллов)**

1. Правильное определение плотности – 1 балл
2. Правильное определение средней плотности – 1 балл
3. Правильное условие для плотности второй части – 1 балл
4. Правильный ответ для средней плотности – 1 балл
5. Правильный ответ для плотности второй части – 0,5 балла

Оценка за задачу находится как сумма оценок за перечисленные пункты.

3. Пусть плотность самого лёгкого тела -  $\rho$ . Тогда плотности других тел -  $2\rho$  и  $3\rho$ . На тела действуют силы тяжести, силы Архимеда и силы натяжения нитей. Поскольку силы Архимеда, действующие на тела, одинаковы (у них одинаковый объем), то внизу будет самое массивное тело с плотностью  $3\rho$ , посередине – тело с плотностью  $2\rho$ , вверху – с плотностью  $\rho$ . Так как тела

находятся в равновесии, сумма сил тяжести и сил Архимеда, действующих на все тела равны друг другу

$$\rho Vg + 2\rho Vg + 3\rho Vg = 3\rho_0 gV$$

Отсюда находим плотности тел

$$\rho = \frac{1}{2}\rho_0$$

Сила натяжения  $T_1$  верхней нити не дает всплывать верхнему телу, на которое, кроме этой силы натяжения, действуют сила тяжести  $\rho Vg$  (вниз) и сила Архимеда  $\rho_0 gV$  (вверх). Поэтому

$$\rho gV + T_1 = \rho_0 gV \quad \Rightarrow \quad T_1 = \frac{1}{2}\rho_0 gV$$

На нижнее тело вверх действуют сила натяжения  $T_2$  нижней нити и сила Архимеда  $\rho_0 gV$ , вниз – сила тяжести  $3\rho Vg$ . Отсюда

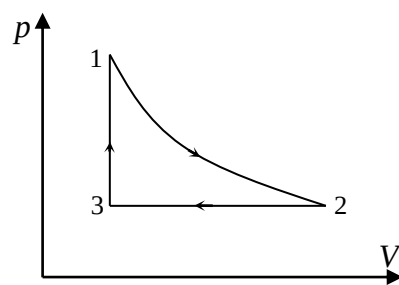
$$3\rho gV = T_2 + \rho_0 gV \quad \Rightarrow \quad T_2 = \frac{1}{2}\rho_0 gV.$$

**Критерии оценки задачи (максимальная оценка за задачу – 5 баллов)**

1. Правильное понимание того, как расположатся тела в жидкости – 1 балл
  2. Правильная плотность тел – 1 балл
  3. Правильные условия равновесия нижнего тела и верхнего (или двух нижних, или центрального) – 1 балл
  4. Правильный ответ для силы натяжения нижней нити – 1 балл
  5. Правильный ответ для силы натяжения верхней нити – 1 балл
- Оценка за задачу находится как сумма оценок за перечисленные пункты.

4. Поскольку изменение внутренней энергии газа в изобарическом процессе составляет  $3/5$  от количества теплоты, полученного газом в этом процессе, то для изменения температуры газа в процессе 2-3 имеем

$$\frac{3}{2}\nu R\Delta T_{2-3} = -\frac{3}{5}Q_{2-3} = -\frac{21}{20}q$$



(минус в этой формуле появился потому, что данное в условии количество теплоты  $Q_{2-3}$  – это количество взятой у газа теплоты). Здесь  $\nu$  – количество вещества (число молей газа),  $R$  – универсальная газовая постоянная. Отсюда находим

$$\Delta T_{2-3} = -\frac{7}{10}\frac{q}{\nu R}$$

Процесс 1-2 – изотермический, поэтому изменение температуры газа в процессе 3-1 по модулю равно изменению температуры газа в процессе 2-3

$$\Delta T_{3-1} = -\Delta T_{2-3}$$

А поскольку количество теплоты, полученное газом в изохорическом процессе равно изменению его внутренней энергии, находим

$$Q_{3-1} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{3-1} = \frac{21}{20} q$$

Найдем КПД цикла. Газ получает от нагревателя за цикл количество теплоты

$$Q_{\text{н}} = Q_{3-1} + Q_{1-2} = \frac{41}{20} q,$$

а отдает холодильнику количество теплоты

$$Q_{\text{х}} = Q_{2-3} = \frac{7}{4} q$$

Поэтому КПД цикла равен

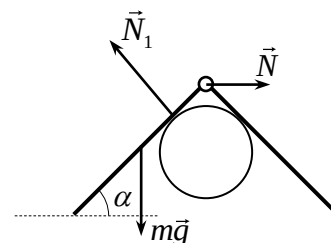
$$\eta = \frac{Q_{\text{н}} - Q_{\text{х}}}{Q_{\text{н}}} = \frac{\frac{41}{20} q - \frac{7}{4} q}{\frac{41}{20} q} = \frac{6}{41} = 14,6\%$$

**Критерии оценки решения задачи (максимальная оценка за решение – 5 баллов)**

- 1. Правильная связь количество теплоты, отданного газом в изобарическом процессе, и изменения его внутренней энергии – 1 балл**
- 2. Правильное утверждение, что изменение внутренней энергии газа в процессах 2-3 и 3-1 одинаковы по модулю – 1 балл.**
- 3. Правильный ответ для количество теплоты, полученного газом при изохорическом нагревании – 1 балл**
- 4. Правильное определение КПД – 1 балл**
- 5. Правильный ответ для КПД цикла – 1 балл**

Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

5. На каждый стержень действуют – сила реакции шарнира  $\vec{N}$ , сила реакции со стороны цилиндра  $\vec{N}_1$  и сила тяжести  $m\vec{g}$  ( $m$  – масса каждого стержня). Причем сила реакции в шарнире может быть направлена только горизонтально, т.к. с одной стороны эти силы должны быть одинаковыми для двух стержней, а с другой по третьему закону Ньютона они противоположны по направлению (на рисунке показаны силы, действующие на левый стержень). Поэтому



$$N_1 \cos \alpha = mg \quad (*)$$

Условие моментов относительно шарнира дает

$$mg \frac{l}{2} \cos \alpha = N_1 R \operatorname{tg} \alpha$$

Используя формулу (\*), получим

$$2 \cos \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos^2 \alpha}.$$

Умножая правую часть на основное тригонометрическое тождество

$$2 \cos \alpha = \frac{\sin \alpha (\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha)}{\cos^2 \alpha}$$

и деля на  $\cos \alpha$  , получим

$$\operatorname{tg}^3 \alpha + \operatorname{tg} \alpha - 2 = 0$$

Группируя следующим образом слагаемые

$$(\operatorname{tg}^3 \alpha - 1) + (\operatorname{tg} \alpha - 1) = 0$$

и используя формулу разности кубов, получим

$$(\operatorname{tg} \alpha - 1)(\operatorname{tg}^2 \alpha + \operatorname{tg} \alpha + 2) = 0 .$$

Квадратное уравнение не имеет корней, поэтому

$$\operatorname{tg} \alpha = 1 \quad \Rightarrow \quad \alpha = 45^\circ$$

Следовательно, угол между стержнями равен

$$180^\circ - 2\alpha = 90^\circ .$$

Теперь находим силу, действующую на каждый стержень со стороны шарнира. Имеем

$$N = N_1 \sin \alpha$$

Из формулы (\*) и условия  $\operatorname{tg} \alpha = 1$  получаем

$$N = mg \operatorname{tg} \alpha = mg .$$

**Критерии оценки задачи (максимальная оценка за задачу – 5 баллов)**

- 1. Правильно определено направление силы реакции в шарнире – 1 балл**
- 2. Правильное условие моментов относительно шарнира – 1 балл**
- 3. Правильное уравнение для угла наклона стержней к горизонту – 1 балл.**
- 4. Правильный ответ для угла между стержнями – 1 балл**
- 5. Правильный ответ для силы реакции шарнира – 1 балл**

**Оценка за задачу находится как сумма оценок за перечисленные пункты.**

**Оценка работы участника**

**Итоговая оценка работы равна сумме оценок за каждую задачу. Пересчет на 50-балльную шкалу осуществляется умножением итоговой оценки на 2.**