

упругих

Условие

Задача 2. Пружинный газ

Как известно, при изменении объема газа его давление будет также изменяться, что приводит к появлению у газов некоторых «упругих» свойств, который можно использовать, например, для амортизации в различных механизмах. В данной задаче вам предлагается изучить свойства идеального газа, сравнивая его с классическими упругими пружинами.

Часть А. Газ как пружина

Идеальный одноатомный газ, заполняет открытый цилиндрический сосуд с поршнем, который может двигаться практически без трения (рис. 1). Стенки сосуда и поршень хорошо проводят тепло. Система находится в равновесии. Площадь основания цилиндра $S = 200 \text{ см}^2$, начальный объем газа $V_0 = 3,0 \text{ л}$.

Если в такой системе надавить или потянуть за поршень, то можно ощутить некоторые «упругие» силы.

Рисунок 1 – Сосуд с поршнем (к части А)

A1.1. Покажите, что при малых деформациях для системы выполняется закон Гука. Найдите жесткость такой «газовой пружины» при малых деформациях.

A1.2. Получите выражение и значение для модуля Юнга такого «упругого материала» при малых деформациях.

При увеличении деформаций закон Гука перестает выполняться, что можно представить, как изменение жесткости системы.

A1.3. Будет ли жесткость увеличиваться или уменьшаться при увеличении деформации?

Далее, в целях энергосбережения, стенки и поршень решили теплоизолировать. Изучите свойства новой «газовой пружины»:

A2.1. Покажите, что при малых деформациях для системы выполняется закон Гука. Найдите жесткость такой «газовой пружины» при малых деформациях.

A2.2. Получите выражение и значение для модуля Юнга такого «упругого материала» при малых деформациях.

A2.3. Будет ли жесткость увеличиваться или уменьшаться при увеличении деформации?

Часть В. Газ против пружины.

С открытой части к поршню из пункта А2 присоединили «классическую» пружину жесткости $k = 15 \text{ кН/м}$ (рис. 2). Первоначально пружина находится в недеформированном состоянии.

Для того чтобы газ «посоревновался» с пружиной, его нагрели, удерживая поршень на месте, с комнатной температуры $T_0 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до температуры $T_1 = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Затем поршень резко отпустили.

В1. Пренебрегая массой поршня, найдите температуру газа T_2 после того, как система придет в равновесие.

Рисунок 2 – Сосуд с поршнем и пружиной (к части В)

Подсказки: Физика: Универсальная газовая постоянная $R = 8,31\text{ Дж}/(\text{К}\cdot\text{моль})$ Постоянная Больцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-23}\text{ Дж}/\text{К}$ Постоянная Авогадро $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}\text{ моль}^{-1}$ Атмосферное давление $p_0 = 101\text{ кПа}$ Плотность сухого воздуха (н.у.) $\rho_v = 1,20\text{ кг}/\text{м}^3$ $0\text{ }^{\circ}\text{C} = 273\text{ К}$ Закон Гука в дифференциальной форме: $\sigma = E \cdot \varepsilon$, где σ – поверхностное напряжение, E – модуль Юнга материала, ε – относительное удлинение. Математика: Для малых α справедливо: $\frac{1}{1+\alpha} \approx 1 - \alpha + \alpha^2 - \alpha^3 + \dots$