

Воздушный шар

В задачах встречаются две различные конструкции воздушного шара: 1) оболочка герметична, шар наполнен лёгким газом; 2) в оболочке имеется отверстие, воздух в шаре нагревается горелкой.

Перед решением задач листка рекомендуется поработать с материалами из приведённого списка. В статьях, помеченных красным кружком, имеются упражнения (ответы — либо в конце документа, либо отдельной ссылкой), которые, разумеется, необходимо делать. Пустой кружок означает факультативный материал; его можно пропустить при первом знакомстве.

- В. Н. Ланге. Зачем топят печи? «Квант», 1975, №4.

О воздушных шарах тут ни слова, однако протапливаемая комната со щелями и воздушный шар с отверстием и горелкой — это примерно одно и то же.

- Л. П. Баканина. Задачи о воздушных шарах. «Квант», 1975, №1. [[Ответы](#)]

Задачи МФТИ: минимально необходимый радиус оболочки шара с гелием; минимально необходимая температура горячего воздуха в шаре с отверстием; изменение температуры атмосферы с высотой; максимальная высота подъёма шара при заданном законе изменения атмосферного давления. Упражнения.

- А. Л. Стасенко. Как попасть на Таинственный остров. «Квант», 2004, №1.
- С. Варламов. Путешествие на воздушном шаре. «Квант», 2004, №3.
- С. Варламов. Задача про «Монгольфьер». «Квант», 2011, №2.
- С. Варламов. Резиновый шарик, надутый гелием. «Квант», 2015, №1.

ЗАДАЧА 1. (МОШ, 2010, 7) В известном мультфильме про Винни-Пуха есть явное несоответствие: Винни-Пух надует воздушный шарик обычным воздухом и взлетает на нём. Для того, чтобы воздушный шарик поднимался (а тем более поднимал Винни-Пуха), нужно, чтобы он был наполнен лёгким газом, плотность которого меньше плотности окружающего воздуха. Можно предположить, что Винни-Пух надует шарик тёплым воздухом, плотность которого, как известно, меньше плотности холодного. Рассчитайте, каким должен быть в этом случае минимальный необходимый для подъёма объём шарика, если плотность тёплого воздуха внутри шарика $\rho_1 = 1,13 \text{ кг/м}^3$, плотность холодного воздуха снаружи $\rho_2 = 1,29 \text{ кг/м}^3$, а масса Винни-Пуха $m = 5 \text{ кг}$.

$$\rho_1 V - mg = \rho_2 V \Rightarrow V = \frac{mg}{\rho_1 - \rho_2} = 1,4 \text{ м}^3$$

ЗАДАЧА 2. (МОШ, 2014, 8) Из тонкой оболочки поверхностной плотности $\sigma = 50 \text{ г/м}^2$ изготовили воздушный шар. При каких значениях радиуса R он сможет подняться в воздух плотностью $\rho_{\text{в}} = 1,3 \text{ кг/м}^3$? Считайте, что шар наполняется гелием, плотность которого $\rho_{\text{г}} = 0,18 \text{ кг/м}^3$. Объём шара радиусом R составляет $V = \frac{4}{3}\pi R^3$, а площадь его поверхности равна $S = 4\pi R^2$.

$$\rho_{\text{г}} V - \sigma S - mg = \rho_{\text{в}} V \Rightarrow R \geq 1,4 \text{ м}$$

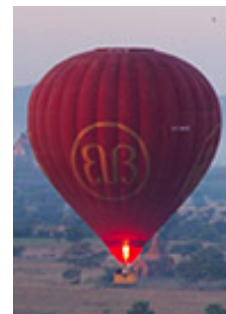
Задача 3. (Всеросс., 2015, ШЭ, 11) В комнате объёмом $V = 30 \text{ м}^3$ сначала была температура $t_1 = 10^\circ\text{С}$. После включения отопления она стала равна $t_2 = 20^\circ\text{С}$. Увеличилась или уменьшилась масса воздуха в комнате? На сколько килограммов? Атмосферное давление равно $p = 100 \text{ кПа}$, молярная масса воздуха $\mu = 29 \text{ г/моль}$. Универсальная газовая постоянная $R = 8,3 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$. Абсолютный нуль температуры составляет $t_0 = -273^\circ\text{С}$.

$$\Delta m = \frac{pV}{R} \left(\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2} \right)$$

Задача 4. (МФТИ, 1981) С какой максимальной силой прижимается к телу человека банка (применяемая в медицинской практике для лечения), если диаметр её отверстия $d = 4 \text{ см}$? В момент прикладывания банки к телу воздух в ней прогрет до температуры $t = 80^\circ\text{С}$, а температура окружающего воздуха $t_0 = 20^\circ\text{С}$. Атмосферное давление $p_0 = 10^5 \text{ Па}$. Изменением объёма воздуха в банке (из-за втягивания кожи) пренебречь.

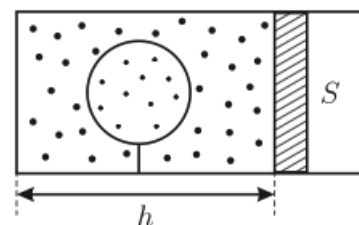
$$F = p_0 \left(\frac{t}{t_0} - 1 \right) \frac{\pi d^2}{4}$$

Задача 5. (МФТИ, 1986) В последние годы популярность приобретает катание на воздушных шарах. Воздух в таком шаре нагревается с помощью газового факела, расположенного у отверстия в нижней части шара. Какую температуру должен иметь воздух в шаре, чтобы поднять двух человек? Масса людей, оболочки, шара, корзины, баллона с газом составляет 420 кг , диаметр шара 20 м , температура окружающего воздуха $+17^\circ\text{С}$, средняя молярная масса воздуха 29 г/моль , универсальная газовая постоянная $R = 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$.



$$T = \frac{m g}{\rho V} + T_0$$

Задача 6. (МОШ, 2008, 10) Горизонтально расположенный цилиндрический сосуд с теплопроводящими стенками, заполненный аргоном плотностью $\rho = 1,7 \text{ кг/м}^3$, закрыт подвижным поршнем и находится в комнате. Площадь поршня равна $S = 400 \text{ см}^2$, расстояние от левого края цилиндра до поршня равно $h = 50 \text{ см}$ (см. рисунок). В сосуде ко дну на нити прикреплен шар объёмом $V_{\text{ш}} = 1000 \text{ см}^3$, сделанный из тонкого нерастяжимого и теплопроводящего материала и заполненный гелием; масса шара с гелием равна $m = 1,2 \text{ г}$. После того как протопили печь и воздух в комнате прогрелся, поршень переместился вправо на расстояние $\Delta h = 3 \text{ см}$. Найдите изменение ΔN силы натяжения нити, удерживающей шар. Ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$.



$$\Delta N = \frac{m \rho g (h + \Delta h)}{S}$$

ЗАДАЧА 7. (Всеросс., 2003, финал, 10) Водород находится в стальном сферическом контейнере высокого давления («бомбе»). Плотность стали $\rho = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, предел прочности $\sigma = 5 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$. Водород из контейнера заполняет лёгкую растяжимую оболочку воздушного шара при неизменной температуре $T = 300 \text{ К}$. Может ли этот воздушный шар поднять сферический контейнер, в котором водород находился ранее?

Универсальная газовая постоянная $R = 8,3 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$, молярную массу воздуха примите равной $29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$.

При расчёте весом водорода и оболочки шара можно пренебречь.

$\frac{mg}{V_d} \approx 0,5 < 1 \Rightarrow \text{не сможет}$
