

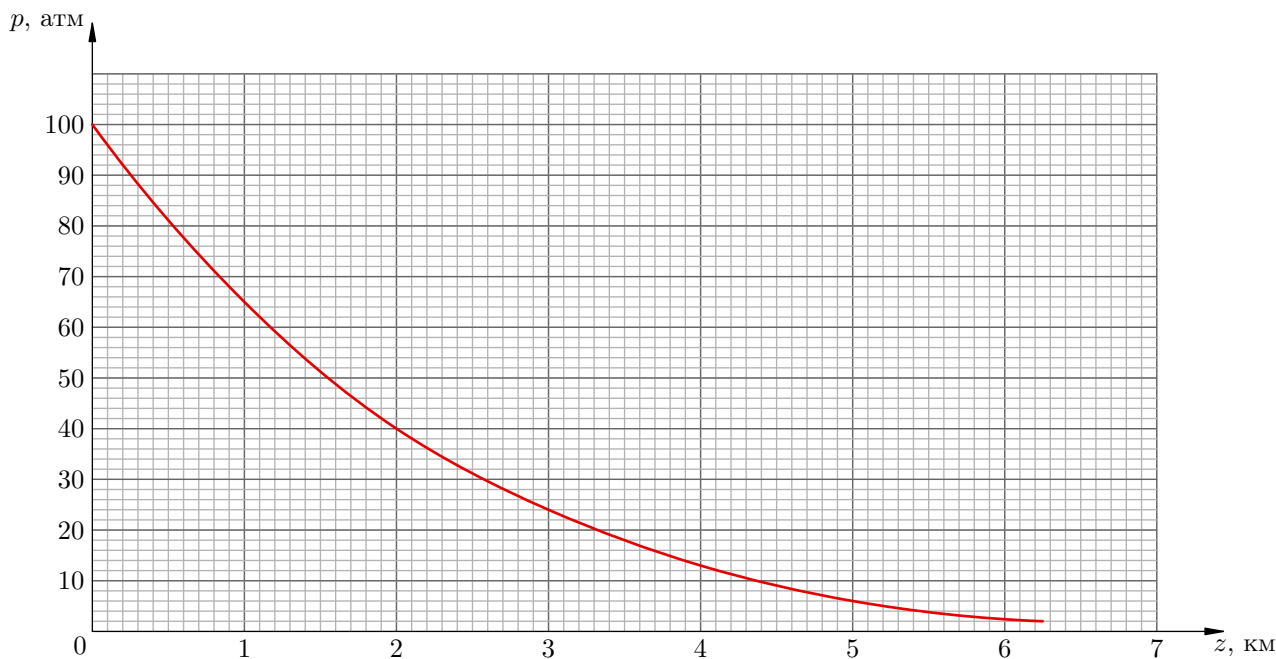
## Модели атмосферы

ЗАДАЧА 1. (МФТИ, 1993) Для насыщенного водяного пара вблизи температуры  $100^\circ\text{C}$  малые относительные изменения давления  $\Delta p_n/p_n$  и температуры  $\Delta T_n/T_n$  связаны формулой  $\Delta p_n/p_n = 13\Delta T_n/T_n$ . При какой температуре закипит вода на высоте Останкинской телебашни  $H = 550$  м? Давление воздуха в изотермической атмосфере  $p(h)$  с высотой  $h$  изменяется по закону  $p(h) = p(0) \cdot \exp(-\mu gh/RT)$ , где  $p(0)$  — нормальное атмосферное давление у поверхности земли,  $\mu = 29$  г/моль — средняя молярная масса воздуха,  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup> — ускорение свободного падения,  $R = 8,31$  Дж/(моль · К),  $T = 273$  К.

Указание. При малых  $x \ll 1$  имеет место формула  $e^{-x} \approx 1 - x$ .

$$\Delta T = \frac{\Delta p_n}{13} = \frac{p_n \mu g h}{13 R T} \approx \frac{p_n \mu g h}{13 R T}$$

ЗАДАЧА 2. (Всеросс., 2015, финал, 10) Спускаемый аппарат осуществляет посадку на поверхность экзотической планеты. Во время спуска проводилось измерение зависимости давления  $p$  в атмосфере планеты от расстояния  $z$  до поверхности планеты (см. рисунок).



Измерение температуры, произведённое на высоте  $z_1 = 5$  км, дало значение  $T_1 = 250$  К. Вычислите температуру  $T_0$  у поверхности планеты. Считайте, что радиус планеты  $R \gg z_1$ . Атмосфера состоит из углекислого газа.

$$T_0 \approx 250 \text{ К}$$

ЗАДАЧА 3. (МФТИ, 1993) В модели адиабатической атмосферы температура воздуха меняется с высотой  $h$  по линейному закону:  $T = T_0 - 2\mu gh/7R$ , где  $T_0 = 273$  К (температура поверхности земли),  $\mu = 29$  г/моль — средняя молярная масса воздуха,  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup> — ускорение свободного падения,  $R = 8,31$  Дж/(моль · К) — газовая постоянная. В той же модели температура  $T$  и плотность  $\rho$  на высоте  $h$  связаны с температурой  $T_0$  и плотностью  $\rho_0$  у поверхности земли формулой  $T^5/\rho^2 = T_0^5/\rho_0^2$ . Найти массу воздуха, содержащегося в 1 литре, взятом на высоте Эльбруса  $H = 5,5$  км. Воздух у поверхности Земли находится при нормальных условиях.

$$\rho \approx \rho_0 \left( \frac{T}{T_0} \right)^{\frac{10}{7}} \approx \rho_0 \left( \frac{273 - 2 \cdot 29 \cdot 9,8 \cdot 5500}{273} \right)^{\frac{10}{7}} = \rho$$

ЗАДАЧА 4. (Всеросс., 2017, финал, 11) В приближении адиабатической атмосферы оцените:

- 1) высоту  $H$  атмосферы Земли;
- 2) высоту  $h_0$  нижней кромки облаков.

Температура на поверхности Земли  $t_0 = 27^\circ\text{C}$ , а относительная влажность воздуха  $\varphi = 80\%$ .

Считайте, что  $h_0 \ll H$ .

Таблица зависимости давления насыщенного водяного пара от температуры:

$t, ^\circ\text{C}$	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
$P_H$ , мм.рт.ст.	7.01	8.05	9.21	10.5	12.0	13.6	15.5	17.5	19.8	22.4	25.2	28.4	31.8

*Указание.* Адиабатической называется атмосфера, в которой порции газа, перемещаясь по вертикали без теплообмена, всё время остаются в механическом равновесии.

*Примечание.* Воздух можно считать идеальным двухатомным газом с молярной массой  $\mu = 29$  г/моль.

$$H \approx \frac{7RT_0}{2\mu g} \approx 30 \text{ км}; \quad (2) \quad h_0 \approx 430 \text{ м}$$