

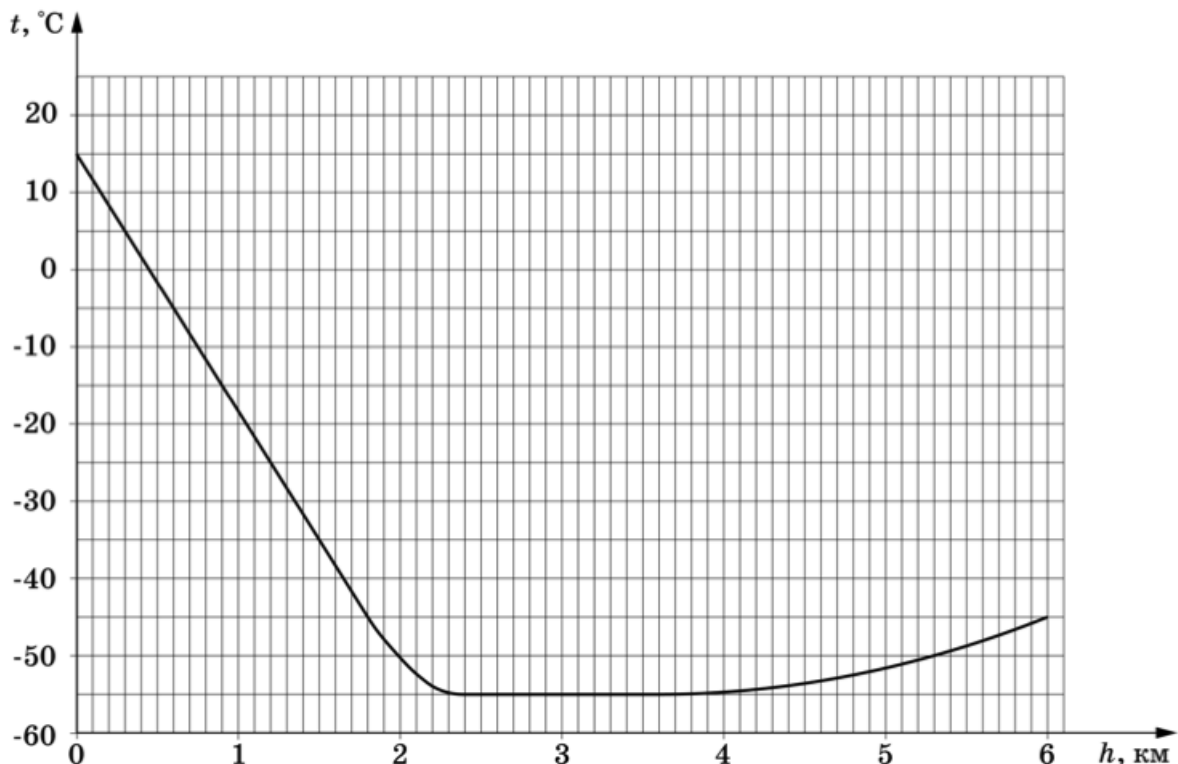
Модели атмосферы

ЗАДАЧА 1. (МФТИ, 1993) Для насыщенного водяного пара вблизи температуры 100°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/с² — ускорение свободного падения, $R = 8,31$ Дж/(моль · К), $T = 273$ К.

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

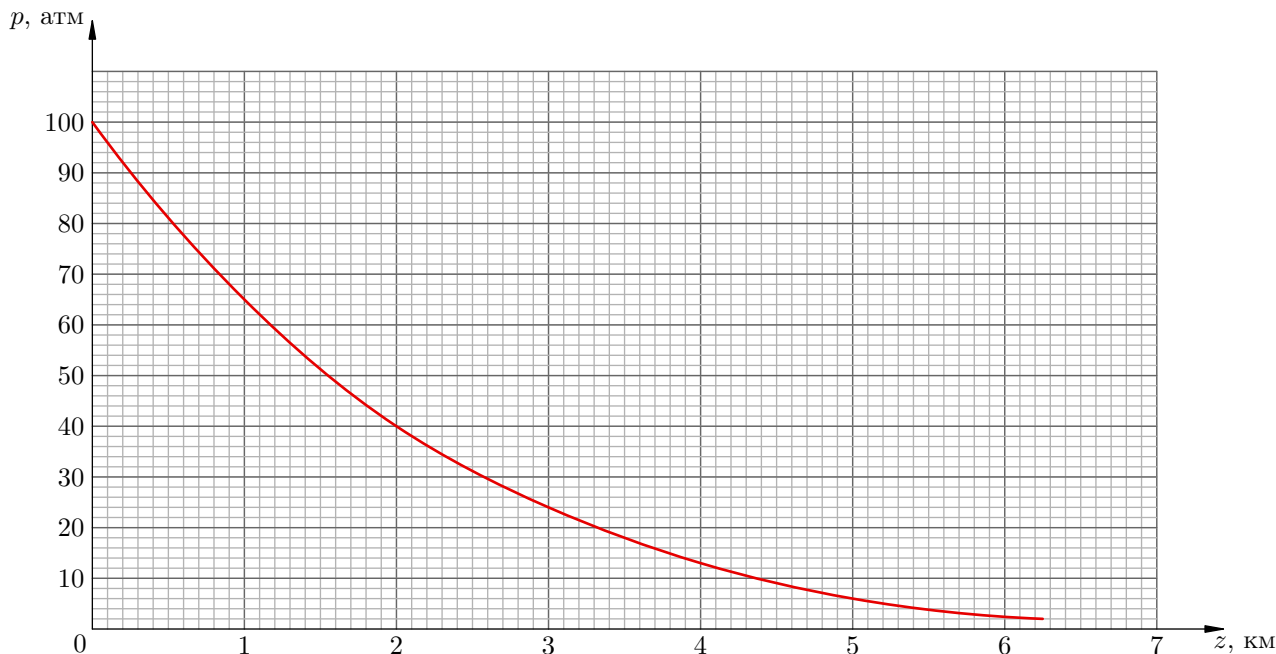
$$\Delta T = \frac{13 \Delta p_n}{13 \Delta T_n} = \Delta T_n$$

ЗАДАЧА 2. (Всеросс., 2019, РЭ, 10) В далеком космосе астронавты исследовали атмосферу планеты R19. Оказалось, что она очень похожа на атмосферу Земли: состоит из идеального газа с молярной массой $\mu = 28$ г/моль и имеет схожую зависимость температуры от высоты (см. рис.). И даже ускорение свободного падения у поверхности R19 равно $g = 9,9$ м/с². Однако, атмосферное давление на уровне моря отличается от земного и равно $p_0 = 500$ кПа. Определите по этим данным, пренебрегая изменением g с высотой, давление p_1 и плотность ρ_1 на высоте $h = 1,0$ км. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль · К).



$$p_1 = 5,85 \text{ кПа/м}^3, \rho_1 = 442 \text{ кПа}$$

ЗАДАЧА 3. (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.

$$\boxed{M \approx 0,89 \approx 0,9}$$

ЗАДАЧА 4. (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/с² — ускорение свободного падения, $R = 8,31$ Дж/(моль · К) — газовая постоянная. В той же модели температура T и плотность ρ на высоте h связаны с температурой T_0 и плотностью ρ_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.

$$\boxed{m \approx 0,001 \text{ кг} \approx 1 \text{ г}}$$

ЗАДАЧА 5. (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 |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $P_H, \text{мм.рт.ст.}$ | 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 $\mu = 29 \text{ г/моль}$.

$$\mu \approx 29 \text{ г/моль} \quad (z \approx 10 \text{ км}; \quad h_0 \approx 2 \text{ км}) \quad (1)$$

ЗАДАЧА 6. (МОШ, 2018, 10) На горизонтальном участке поля Вася очистил от чистого белого снега площадку с размерами $1 \text{ м} \times 1 \text{ м}$. Под лучами весеннего солнца чёрная земля прогревается и нагревает расположенный над ней воздух. Тепловая мощность, получаемая воздухом от площадки, равна $W = 0,3 \text{ кВт}$ — поскольку солнце зимой находится довольно низко над горизонтом. В безветренную и сухую погоду при температуре воздуха $T_0 = 273 \text{ К}$ и давлении возле поверхности земли $p = 10^5 \text{ Па}$ столб тёплого воздуха, поднимающийся над площадкой, имеет на высоте $h = 10 \text{ м}$ температуру $T_1 = 275 \text{ К}$ и поперечное сечение, равное $S = 2 \text{ м}^2$. Температура окружающего воздуха не зависит от высоты и равна T_0 . Молярная масса воздуха $\mu = 29 \text{ г/моль}$, его молярная теплоёмкость при постоянном давлении равна $C_p = 7R/2$.

1) Оцените, с какой скоростью поднимается поток воздуха на высоте h , если процесс уже установился.

2) Оцените, на какую высоту поднялся бы тёплый воздух, если бы отсутствовал теплообмен между тёплым воздухом и окружающим его холодным воздухом.

Примечание. Справедлива приближённая формула:

$$\Delta \left(\frac{a}{b} \right) = \frac{b\Delta a - a\Delta b}{b^2}.$$

$$\mu \approx 29 \text{ г/моль} \quad (z \approx 10 \text{ км}; \quad h_0 \approx 2 \text{ км}) \quad (1)$$

ЗАДАЧА 7. (Всеросс., 1993, финал, 11) Пространство между двумя большими горизонтально расположенными пластинами, находящимися на расстоянии l друг от друга, заполнено воздухом. Температура нижней пластины поддерживается равной T_1 , верхней — равной $T_2 < T_1$. Считая воздух идеальным газом, определите, при какой разности температур $T_1 - T_2$ в системе возникает конвекция. Теплообменом между соседними слоями воздуха при конвекции можно пренебречь. В отсутствие конвекции температура меняется с высотой по линейному закону. Молярную теплоёмкость воздуха при постоянном объеме C_V и его молярную массу μ считайте известными.

$$\frac{\mu + \Lambda \mathcal{O}}{76\pi} < \varepsilon_L - \varepsilon_L \quad (1)$$