

## Задания

### Задание 27 № 10237

Известно, что слуховой аппарат человека чувствителен к изменениям атмосферного давления — если оно быстро меняется, то уши закладывает. От этого ощущения можно избавиться, если определённым образом плотнеть воздух. Объясните, основываясь на физических законах и закономерностях, наблюдаемое явление и оцените, при подъёме на лифте на какой этаж Главного здания (ГЗ) МГУ им. М. В. Ломоносова это закладывание произойдёт, если в среднем ухе человека чувствуется изменение давления на 9 мм ртутного столба. Высота каждого этажа в ГЗ 5 м, а атмосферные условия близки к нормальным. Лифт стартует с первого этажа. Считайте, что в пределах высоты ГЗ плотности атмосферного воздуха не меняется.

#### Решение.

1. Закладывание ушей при изменении атмосферного давления связано с тем, что среднее ухо человека, заключающее в себе некоторый объём воздуха, отделено от внешнего пространства герметичной барабанной перепонкой. При изменении внешнего давления внутреннее давление в определённых пределах их разности остаётся постоянным, барабанная перепонка выгибается наружу или внутрь, вызывая неприятные ощущения типа закладывания ушей и даже боль. Для выравнивания давлений, которое происходит через узкие каналы, связывающие внутреннее ухо с глоткой, человек и совершает глотательные движения, напрягая глотку, когда в ней замкнут определённый объём воздуха, и проталкивая его в среднее ухо или отсасывая его оттуда.

2. Для численной оценки переведём вначале  $h = 9$  мм ртутного столба в Па, используя формулу для изменения давления с высотой:

$$\Delta p = \rho_{\text{рт}} g h = 13600 \cdot 10 \cdot 9 \cdot 10^{-3} = 1224 \text{ Па.}$$

3. Затем найдём высоту  $H$ , на которой при нормальных условиях ( $p = 10^5$  Па,  $T = 273$  К) давление воздуха уменьшится на величину  $\Delta p$ , с учётом того, что плотность воздуха, согласно уравнению Клапейрона — Менделеева, равна  $\rho_{\text{в}} = \frac{\mu_{\text{в}} p}{RT}$ , где молярная масса воздуха  $\mu_{\text{в}} = 29$  г/моль.

$$\Delta p = \rho_{\text{в}} g H = \frac{\mu_{\text{в}} p}{RT} g H = \frac{0,029 \cdot 10^5 \cdot 10}{8,31 \cdot 273} \cdot H \approx 12,78 \cdot H \text{ [Па]} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow H \approx \frac{\Delta p}{12,78} \text{ [м].}$$

4. Приравняв выражения для  $\Delta p$ , получаем  $H \approx 96$  м, что примерно соответствует 20-му этажу ГЗ МГУ.

5. Оценку высоты также можно провести и другим способом. Многим школьникам известно, что вблизи поверхности земли при подъёме на каждые 10 м давление уменьшается на 1 мм рт. ст. Поэтому закладывание ушей произойдёт на высоте, примерно равной  $90 : 5 = 18$  этажей ГЗ.