

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 глотнуть 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 уши человека чувствуют 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 плотность 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:

$$\Delta p = \rho_{\text{рт}}gh = 13\,600 \cdot 10 \cdot 9 \cdot 10^{-3} = 1224 \text{ Па.}$$

3. Затем найдём высоту H , на которой при нормальных условиях ($p = 10^5$ Па, $T = 273$ К) давление воздуха уменьшится на величину Δp , 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.

$$\begin{aligned} \Delta p = \rho_{\text{в}}gH &= \frac{\mu_{\text{в}}p}{RT}gH = \frac{0,029 \cdot 10^5 \cdot 10}{8,31 \cdot 273} \cdot H \approx 12,78 \cdot H \text{ [Па]} \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow H \approx \frac{\Delta p}{12,78} \text{ [м]}. \end{aligned}$$

4. Приравняв выражения для Δp , 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.