

3 Испарение воды

Условие

Задача 11.3 Испарение воды

В данной задаче вам необходимо оценить скорость испарения воды.

Используйте следующие характеристики воды и водяного пара:

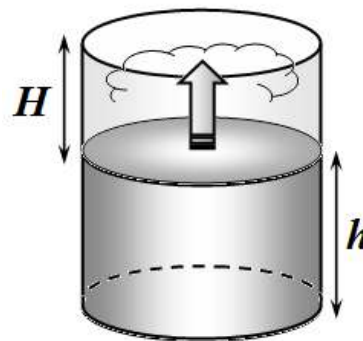
- молярная масса $M = 18 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$;
- плотность воды $\rho = 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;
- универсальная газовая постоянная $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$; постоянная Больцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$;
- атмосферное давление считать постоянным и равным $P_0 = 1,0 \cdot 10^5$ Па температуру воздуха и воды во всех пунктах задачи также считать постоянной и равной $t_0 = 20^\circ\text{C}$;
- давление насыщенного пара при данной температуре равно $p_n = 2,3$ кПа;
- при попадании молекул воды из пара на свободную поверхность жидкости только $\eta = 4,0\%$ молекул задерживаются ею, остальные отражаются;
- коэффициент диффузии молекул воды в воздухе при заданных условиях равен $D = 3,1 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$;
- абсолютный нуль температуры $t_0 = -273,15^\circ\text{C}$.

1. Покажите, что число молекул газа, ударяющихся о площадку единичной площади за единицу времени, пропорционально концентрации молекул и средней скорости их движения. Получите формулу для расчета числа ударов молекул газа.

2. В вертикальном открытом цилиндрическом сосуде находится вода при заданных условиях. 2.1 Определите число молекул воды, вылетающих с единицы площади свободной поверхности в единицу времени. 2.2 Считая, что все молекулы воды, вылетевшие с ее поверхности, назад не возвращаются, рассчитайте скорость высыхания воды в сосуде, т.е. скорость изменения высоты ее уровня $\frac{\Delta h}{\Delta t}$ (Получите формулу и найдите численное значение, выразив его в $\frac{\text{м}}{\text{час}}$)

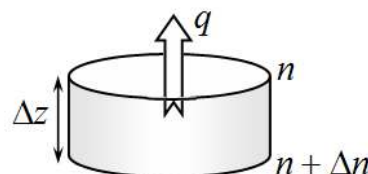
3. Скорее всего, полученная в предыдущем пункте оценка скорости высыхания сильно завышена. Уточните ее, считая, что над водой находится воздух, влажность которого равна $\varphi = 70\%$.

4. Скорее всего, что новая оценка также завышена! Поэтому учтите влияние диффузии водяного пара в сосуде на скорость испарения. Пусть высота свободной части сосуда над поверхностью воды равна $H = 10$ см. В сосуде установится некоторое стационарное распределение концентрации молекул водяного пара по высоте (влиянием боковых стенок можно пренебречь и считать, что концентрация молекул пара зависит только от высоты). Вне сосуда (то есть на высоте $H = 10$ см над поверхностью воды) находится воздух, влажность



которого равна $\varphi = 70\%$. Обозначим влажность воздуха, непосредственно примыкающего к поверхности воды φ_0 . 4.1 Найдите зависимость влажности воздуха от расстояния до свободной поверхности воды. 4.2 Рассчитайте количество молекул воздуха, покидающих сосуд в единицу времени (величины граничных влажностей φ , φ_0 и площадь поперечного сечения сосуда считайте известными). 4.3 Найдите влажность воздуха, непосредственно примыкающего в свободной поверхности воды φ_0 . 4.4 Рассчитайте скорость высыхания воды с учетом вертикальной диффузии молекул воды.

Теоретическая подсказка.



Диффузионный поток (число молекул пересекающих площадку единичной площади в единицу времени) определяется законом Фика

$$q = D \frac{\Delta n}{\Delta z},$$

где Δn - изменение концентрации молекул диффундирующих молекул на расстоянии Δz , D - коэффициент диффузии.