

1.6 ЯВЛЕНИЕ ДИФФУЗИИ

Диффузией называют *процесс взаимного проникновения молекул соприкасающихся веществ, обусловленный тепловым движением*. Этот процесс наблюдается в газах, жидкостях и твердых телах. Например, распространение запаха в неподвижном воздухе можно объяснить явлением диффузии.

Для описания процесса диффузии необходимо ввести понятие **парциальной плотности** вещества ρ_i , которая равна массе i – того диффундирующего вещества, находящейся в единице объема смеси. Пусть диффузия происходит в направлении оси z и является *стационарной*, т.е. величина ρ_i в точках среды остается постоянной с течением времени. Закон диффузии экспериментально установил ученый Фик: масса вещества ΔM , проходящая за время Δt через площадку S , перпендикулярную к направлению диффузии, равна

$$\Delta M = -D \frac{d\rho_i}{dz} S \Delta t, \quad (1.27)$$

где $d\rho_i$ – изменение парциальной плотности вещества вдоль расстояния dz ; знак минус показывает, что диффузия направлена в сторону убывания ρ_i ; D – коэффициент диффузии. Величину $d\rho_i/dz$ называют *градиентом* парциальной плотности. Этот градиент показывает скорость уменьшения парциальной плотности вещества вдоль направления диффузии. Если численно положить $d\rho_i/dz = -1$, $S = 1$, $\Delta t = 1$, то получим из (1.27) $\Delta M = D$. Отсюда следует *физический смысл D : коэффициент диффузии* численно равен массе вещества, перенесенной за единицу времени через единичную площадку, расположенную перпендикулярно направлению диффузии, если модуль градиента парциальной плотности равен единице. Размерность коэффициента диффузии в системе СИ $[D] = \text{м}^2 \text{с}^{-1}$.

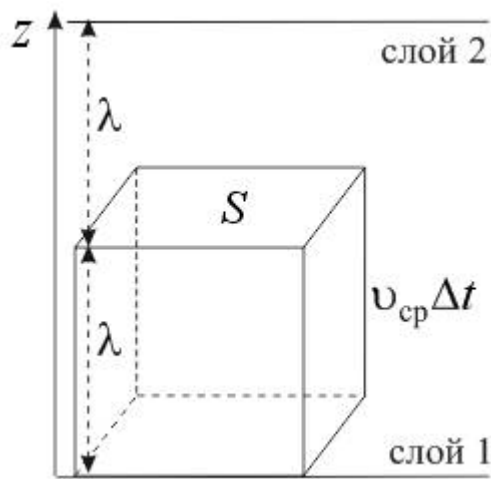


Рисунок 1.7

Рассмотрим вывод этого закона для газов, исходя из молекулярно-кинетических представлений. Для упрощения расчетов будем считать, что молекулы обеих компонент смеси газов имеют практически одинаковые массы и размеры. Результат расчета не изменится, если хаотическое движение молекул заменить их упорядоченным движением вдоль осей x , y и z . Рассмотрим рисунок 1.7. Через площадку S в направлении оси z за

время Δt пролетит лишь $1/6$ часть тех молекул, которые находятся в объеме $V = S v_{cp} \Delta t$, где v_{cp} – средняя скорость молекул. Число таких молекул равно $n_1 S v_{cp} \Delta t / 6$, где n_1 – число молекул диффундирующего газа в единице объема для слоя 1. Аналогично сверху вниз через площадку S из слоя 2 пролетит число молекул, равное $n_2 S v_{cp} \Delta t / 6$, где n_2 – число молекул диффундирующего газа в единице объема для слоя 2. Разность этих чисел даст число молекул, пролетевших через площадку S в направлении оси z : $\Delta N = (n_1 - n_2) S v_{cp} \Delta t / 6$. Эти пролетевшие молекулы перенесут через площадку S массу вещества $\Delta M = m \Delta N$ или $\Delta M = (n_1 - n_2) S v_{cp} \Delta t / 6$, где m – масса молекулы. Подставляя парциальные плотности вещества $\rho_{i1} = m n_1$ и $\rho_{i2} = m n_2$, получим

$$\Delta M = (\rho_{i1} - \rho_{i2}) S v_{cp} \Delta t / 6. \quad (1.28)$$

Свободно пролетать площадку S могут лишь те молекулы, которые находятся от нее на расстоянии, не превышающем среднюю длину свободного пробега молекул λ . Следовательно, слои 1 и 2 должны находиться на расстоянии друг от друга равном 2λ , и в согласии с определением градиента должно выполняться соотношение $(\rho_{i1} - \rho_{i2}) / 2\lambda = d\rho_i / dz$. Учитывая это равенство, преобразуем выражение (8.28) к виду

$$\Delta M = -\frac{1}{3} v_{cp} \lambda \frac{d\rho_i}{dz} S \Delta t. \quad (1.29)$$

Мы получили закон диффузии, исходя из молекулярно-кинетических представлений. Сравнивая равенства (1.29) и (1.27), получим теоретическое выражение для коэффициента диффузии

$$D = \frac{1}{3} v_{\text{ср}} \lambda. \quad (1.30)$$

Так как $\lambda \sim 1/p$, то D уменьшается при увеличении давления. Зависимость коэффициента диффузии от $v_{\text{ср}}$, а следовательно, и от массы молекул, позволяет использовать явление диффузии для разделения изотопов при многократном прохождении газа через пористые перегородки.

Поток паров от кипящей ртути, направленный вдоль специальной трубы, позволяет на ее концах создать разность давлений откачиваемого газа от 1 мм.рт.ст. до 10^{-7} мм.рт.ст., достаточную для получения высокого вакуума. Для откачиваемого газа только одна из 10^{20} молекул способна пробиться через поток паров ртути за счет диффузии. Устройство, основанное на этом принципе получения вакуума, называют *диффузионным насосом*. Предварительную откачку газа до 1 мм.рт.ст. производят другими насосами.