

Для создания более глубокого вакуума широко применяется насос Лэнгмюра (рис. 2.32). Ртуть или органическая жидкость (масло) в резервуаре нагревается электрической спиралью до кипения. Пары ртути с большой скоростью выходят из сопла и увлекают за собой молекулы воздуха из откачиваемого сосуда. Эти пары, попадая затем на охлаждаемую водой поверхность, конденсируются и стекают обратно в резервуар, а захваченный воздух выходит в пространство, в котором должно быть создано предварительное разрежение (форвакуум). Насос Лэнгмюра используется, например, для откачки электровакуумных приборов. С его помощью можно достичь разрежений, соответствующих $\sim 10^6$ мм рт. ст.

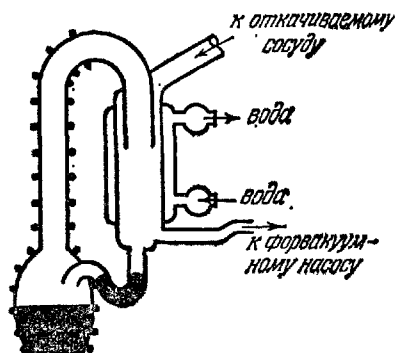


Рис. 2.32.

Для достижения еще больших разрежений используют, например, свойство охлажденного активированного угля поглощать газы. В откачиваемой колбе помещается отросток, в который помещается некоторое количество активированного угля. При получении максимального разрежения, которого можно достигнуть с помощью насоса Лэнгмюра, отросток с углем погружают в жидкий воздух. Охлажденный до температуры порядка -180°C уголь поглощает остатки газа в колбе, и давление в ней понижается до $10^{-8} \div 10^{-9}$ мм рт. ст.

Для измерения небольших разрежений можно пользоваться обычным ртутным манометром. В случае глубокого вакуума приходится предварительно сжимать часть газа в определенное большое число раз и измерять давление сжатой части газа (манометр Мак-Леода).

В настоящее время для измерения вакуума широко используют различные электрические методы. Например, в ионизационном манометре с помощью высокого напряжения ионизируют молекулы остаточного газа и измеряют число образовавшихся ионов, которое пропорционально концентрации молекул, т. е. давлению газа.

§ 27. Диффузия газов

Пусть в газе присутствует посторонняя примесь с концентрацией n (n — число молекул в единице объема). В данный момент времени концентрация примеси в различных точках объема может быть различной и зависеть от пространственной координаты x , как это изображено на рис. 2.33.

Если в точке с координатой x концентрация имеет величину n , то в соседней точке, сдвинутой на расстояние Δx , значение концентрации будет равно $n + \Delta n$. Приращение концентрации Δn может быть как положительным, так и отрицательным, в зависимости от концентрации примеси в соседних элементах объема.

Отношение $\frac{\Delta n}{\Delta x}$ характеризует быстроту изменения концентрации в пространстве и называется **градиентом концентрации**. Знак этого отношения указывает направление возрастания концентрации, т. е. направление градиента в пространстве*).

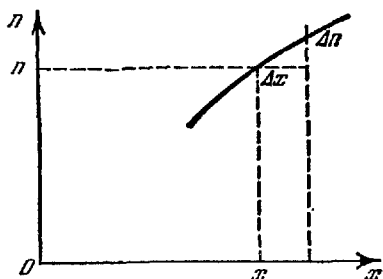


Рис. 2.33.

Численное значение градиента показывает изменение концентрации Δn в пространстве при перемещении на единицу длины (при $\Delta x = 1$).

Если градиент концентрации равен нулю, то $\Delta n = 0$ и $n = \text{const}$, т. е. концентрация примеси в различных точках газа одинакова. Такое равномерное распределение примеси в пространстве является

наиболее вероятным и, однажды возникнув, не будет нарушаться хаотическим движением молекул.

При наличии градиента концентрации ($\frac{\Delta n}{\Delta x} \neq 0$) хаотическое движение будет стремиться выравнять концентрации, и возникнет поток молекул примеси, направленный от мест с большими к местам с меньшими значениями n . Этот диффузионный поток будет тем больше, чем выше градиент концентрации.

Для вычисления диффузионного потока выделим мысленно в плоскости $x = \text{const}$ контрольную площадку ΔS перпендикулярно к оси x и подсчитаем число молекул примеси, проходящих за время Δt через эту площадку слева направо и справа налево (рис. 2.34).

Поток молекул ΔN_+ , проходящих через площадку в направлении положительной оси x , согласно (17.11) равен

$$\Delta N_+ = \frac{1}{6} n_1 \bar{c} \Delta S \Delta t, \quad (27.1)$$

где n_1 — концентрация примеси слева от контрольной площадки.

*) Если концентрация n зависит и от других пространственных координат y и z , то $\Delta n / \Delta x$ является лишь проекцией градиента на ось x . В этом общем случае градиент есть вектор, направленный в сторону наибольшего изменения данной величины.

Поскольку в рассматриваемом случае концентрация n меняется от точки к точке, то следует более тщательно определить, какому значению координаты соответствует величина n_1 . Для упрощения расчета примем, что все молекулы, проходящие через контрольную площадку, испытали последнее столкновение на одном и том же расстоянии от площадки, равном средней длине свободного пробега l . Так как выравнивание концентраций происходит лишь в результате взаимных столкновений, то на пути l концентрация молекул в пучке не меняется и остается равной значению n_1 в плоскости $x - l$.

Поток молекул примеси, проходящих через площадку справа налево, в направлении отрицательных значений координаты x , аналогично равен

$$\Delta N_- = \frac{1}{6} n_2 \bar{c} \Delta S \Delta t, \quad (27.2)$$

где n_2 — концентрация примеси в плоскости $x + l$ на расстоянии l справа от площадки.

Суммарный диффузионный поток через площадку в направлении положительной оси x представляет разность этих двух потоков:

$$\Delta N = \Delta N_+ - \Delta N_-. \quad (27.3)$$

Поток молекул, проходящих через единицу площади за единицу времени, можно тогда преобразовать к виду

$$J = \frac{\Delta N}{\Delta S \Delta t} = \frac{1}{6} (n_1 - n_2) \bar{c} = -\frac{1}{3} \bar{c} l \frac{n_2 - n_1}{2l}. \quad (27.4)$$

Разность $n_2 - n_1$ представляет собой приращение концентрации Δn на расстоянии $\Delta x = 2l$. Следовательно, отношение

$$\frac{n_2 - n_1}{2l} = \frac{\Delta n}{\Delta x} \quad (27.5)$$

представляет собой градиент концентрации в направлении, параллельном оси x . Обозначим, далее, через D произведение

$$\frac{1}{3} \bar{c} l = D. \quad (27.6)$$

Тогда закон диффузии принимает окончательный вид:

$$J = -D \frac{\Delta n}{\Delta x}. \quad (27.7)$$

Поток молекул примеси, диффундирующих через единицу площади за единицу времени, прямо пропорционален градиенту концентрации.

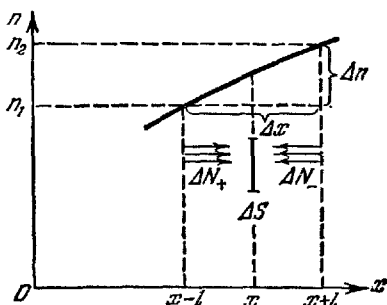


Рис. 2.34.

Знак минус в формуле (27.7) указывает на то, что диффузионный поток направлен противоположно градиенту концентрации, т. е. в сторону *уменьшения* концентрации.

Коэффициент пропорциональности D носит название *коэффициента диффузии* и численно равен потоку молекул через единицу площади за единицу времени при градиенте концентрации, равном единице (точнее, при $\frac{\Delta n}{\Delta x} = -1$).

Закон диффузии (27.7) был установлен на опыте задолго до того, как он был выведен теоретически из молекулярно-кинетической теории. Поэтому главная ценность теоретического вывода заключается в выяснении механизма процесса диффузии и связи коэффициента диффузии с основными микроскопическими характеристиками.

При нормальных условиях длина свободного пробега $l \approx 10^{-7}$ м, а средние скорости $\bar{c} \approx 10^2 \div 10^3$ м/с. Отсюда, в соответствии с опытом, коэффициенты диффузии в газах при нормальных температуре и давлении оказываются равными $D \approx 10^{-5} \div 10^{-4}$ м²/с.

§ 28. Вязкость газа (внутреннее трение)

Пусть в покоящемся газе движется вверх (перпендикулярно к оси x) плоская пластина, обладающая некоторой скоростью v_0 (рис. 2.35). Будем считать, что v_0 много меньше средней скорости хаотического движения молекул:

$$v_0 \ll \bar{c}. \quad (28.1)$$

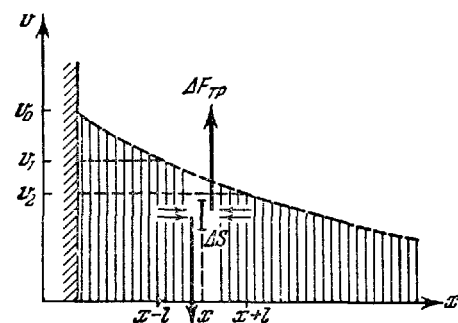


Рис. 2.35.

В своем движении пластина увлекает прилегающий к ней слой газа, который в свою очередь увлекает за собой следующий слой, и т. д. Таким образом, весь газ как бы делится на тончайшие слои, скользящие вверх тем медленнее, чем дальше они находятся от движущегося тела.

Очевидно, что если бы отсутствовало взаимодействие между слоями газа и между газом и пластиной, каждый слой мог бы двигаться с произвольной скоростью, независимо от других. В действительности же распределение скоростей $v(x)$ слоев газа в зависимости от их расстояния до пластины устанавливается в силу наличия вязкости, т. е. сил внутреннего трения в газе.