

ГЛАВА VII

ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА В ГАЗАХ

§ 24. Явления переноса

Молекулы пахучей жидкости, испаряясь, перемещаются среди молекул воздуха даже при отсутствии конвекции. При обычных температурах молекулы движутся со скоростью пули. Однако мы, находясь в одном конце комнаты, не можем почувствовать через тысячные доли секунды запах жидкости, пролитой в другом конце комнаты. В спокойном воздухе молекулы пахучего вещества дойдут до противоположного конца комнаты за сравнительно большой промежуток времени. Это кажущееся противоречие с выводами кинетической теории объясняется тем, что движущаяся в газе молекула непрерывно сталкивается со встречными молекулами и при этом каждый раз изменяет направление своего движения. Таким образом, молекула описывает довольно сложный ломаный путь, похожий на траекторию броуновской частицы, изображенную на рис. 2.25, и лишь весьма медленно удаляется от своего первоначального положения.

Постепенное распространение в газе молекул примеси от места их ввода в газ носит название *диффузии*.

Пусть в газе движется какое-либо тело (человек, поезд, автомобиль или самолет) с некоторой скоростью v . До сих пор мы считали, что столкновения молекул газа с поверхностью таких тел происходят по закону удара абсолютно упругих шаров. В действительности же молекулы, ударяющиеся о поверхность тела, частично «прилипают» к ней — адсорбируются, а через некоторое время «испаряются» с нее. Если тело в газе неподвижно и имеет одинаковую с ним температуру, то распределения по скоростям молекул, падающих на поверхность тела, и молекул, покидающих его, отличаются друг от друга так, что одно является как бы зеркальным отражением другого. При этом остается справедливым расчет, который был произведен при вычислении давления газа. Если же тело движется, то при абсолютно упругих столкновениях будет меняться лишь нормальная к поверхности тела составляющая

щая скорости молекулы. При адсорбции же с последующим испарением молекулы и твердое тело будут обмениваться и тангенциальными к поверхности твердого тела составляющими скорости. Для простоты можно представлять, что молекулы, ударяющиеся о поверхность этого тела, будут увлекаться последним и, отскакивая, приобретут дополнительную скорость v .

Таким образом, при взаимодействии со сталкивающейся молекулой массы m тело передаст последней некоторое небольшое количество движения mv в направлении своего движения. В процессе многочисленных столкновений движущееся тело будет, таким образом, передавать газу часть своего количества движения. Газ при этом будет ускоряться, на границе с твердым телом на него будет действовать суммарная средняя сила F в направлении движения тела. По третьему закону динамики на тело со стороны газа будет действовать сила — F , замедляющая его движение, — сила трения.

Такая же сила трения будет действовать и между двумя соседними слоями газа, движущимися по какой-либо причине с различными скоростями. Это явление носит название **внутреннего трения**, или **вязкости газа**.

Наконец, если в соседних слоях газа создана или поддерживается разная температура, то между ними будет происходить обмен тепла. Средняя энергия молекул газа, пропорциональная согласно (18.19) абсолютной температуре T , в обоих слоях будет различной. Благодаря хаотическому движению, молекулы в обоих слоях будут перемешиваться и средние энергии, а следовательно, и температуры слоев будут стремиться выравниваться. При этом будет наблюдаться перенос энергии от более нагретых к более холодным слоям. Этот процесс носит название **теплопроводности**.

В процессе диффузии происходит перенос вещества примеси из областей с большей концентрацией в места с меньшей концентрацией этой примеси. При внутреннем трении в газе переносится количество движения. Наконец, при теплопроводности мы наблюдаем перенос тепла от более нагретых областей к более холодным.

В основе всех этих трех различных физических явлений лежит один и тот же молекулярный механизм — хаотическое движение и перемешивание молекул. Общность механизма, обуславливающего все эти явления переноса, приводит к тому, что их закономерности должны быть похожи друг на друга, а количественные характеристики — тесно связаны друг с другом.

Как видно при предварительном рассмотрении явления диффузии, скорость этого процесса определяется частотой столкновений со встречными молекулами и путем, проходимым молекулой

от одного столкновения до следующего, называемым длиной свободного пробега. Поэтому для вывода основных закономерностей явлений переноса с помощью молекулярно-кинетической теории необходимо предварительно определить длину свободного пробега молекул в газах и выяснить ее зависимость от состояния газа.

§ 25. Число столкновений и длина свободного пробега молекул в газе

На рис. 2.26 изображена траектория движения молекулы в газе. Величина l_i представляет собой путь, который пролетает молекула свободно от одного столкновения до следующего, — длину свободного пробега молекулы. Вследствие хаотичности молекулярного движения величины последовательных длин свободных

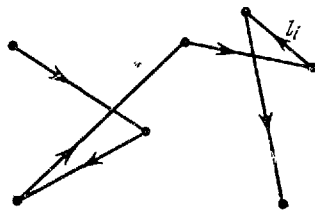


Рис. 2.26.

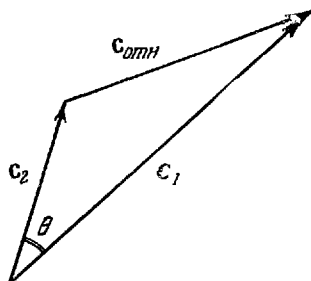


Рис. 2.27.

пробегов l_i постоянно меняются. Неизменным при данных условиях остается лишь их среднее значение, которое мы обозначим через l :

$$l = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} l_i, \quad (25.1)$$

и назовем средней длиной свободного пробега.

Теоретическое вычисление величины l возможно на основе конкретной модели газа. Примем для упрощения расчета следующую модель идеального газа. Будем считать, что молекулы газа являются твердыми шариками одинакового диаметра d , взаимодействующими лишь при непосредственном соприкосновении по законам столкновения упругих шаров. Тем самым, в отличие от предыдущей главы, мы учтем протяженность молекул.

Пусть до столкновения молекулы имели скорости c_1 и c_2 . Величины этих скоростей, их направления, а следовательно, и угол θ между ними (рис. 2.27) при каждом столкновении могут быть раз-