Идеальный газ. У газа при обычных давлениях расстояние между молекулами во много раз превышает их размеры. В этом случае силы взаимодействия молекул пренебрежимо малы и кинетическая энергия молекул много больше потенциальной энергии взаимодействия. Молекулы газа можно рассматривать как материальные точки или очень маленькие твёрдые шарики. Вместо реального газа, между молекулами которого действуют силы взаимодействия, мы будем рассматривать его модель - идеальный газ.

Идеальный газ - это теоретическая модель газа, в которой не учитываются размеры молекул (они считаются материальными точками) и их взаимодействие между собой (за исключением случаев непосредственного столкновения).

Естественно, при столкновении молекул идеального газа на них действует сила отталкивания. Так как молекулы газа мы можем согласно модели считать материальными точками, то размерами молекул мы пренебрегаем, считая, что объём, который они занимают, гораздо меньше объёма сосуда.

Напомним, что в физической модели принимают во внимание лишь те свойства реальной системы, учёт которых совершенно необходим для объяснения исследуемых закономерностей поведения этой системы.

Ни одна модель не может передать все свойства системы. Сейчас нам предстоит решить задачу: вычислить с помощью молекулярно-кинетической теории давление идеального газа на стенки сосуда. Для этой задачи модель идеального газа оказывается вполне удовлетворительной. Она приводит к результатам, которые подтверждаются опытом.

Давление газа в молекулярно-кинетической теории. Пусть газ находится в закрытом сосуде. Манометр показывает давление газа. Как возникает это давление?

Каждая молекула газа, ударяясь о стенку, в течение малого промежутка времени действует на неё с некоторой силой. В результате беспорядочных ударов о стенку давление быстро меняется со временем примерно так, как показано на рисунке 9.1. Однако действия, вызванные ударами отдельных молекул, настолько слабы, что манометром они не регистрируются. Манометр фиксирует среднюю по времени силу, действующую на каждую единицу площади поверхности его чувствительного элемента - мембраны. Несмотря на небольшие изменения давления, среднее значение давления практически оказывается вполне определённой величиной, так как ударов о стенку очень много, а массы молекул очень малы.

Среднее давление имеет определённое значение как в газе, так и в жидкости. Но всегда происходят незначительные случайные отклонения от этого среднего значения. Чем меньше площадь поверхности тела, тем заметнее относительные изменения силы давления, действующей на данную площадь. Так, например, если участок поверхности тела имеет размер порядка нескольких диаметров молекулы, то действующая на неё сила давления меняется скачкообразно от нуля до некоторого значения при попадании молекулы на этот участок.

Среднее значение квадрата скорости молекул. Для вычисления среднего давления надо знать значение средней скорости молекул (точнее, среднее значение квадрата скорости). Это не простой вопрос. Вы привыкли к тому, что скорость имеет каждая частица. Средняя же скорость молекул зависит от того, каковы скорости движения всех молекул.

С самого начала нужно отказаться от попыток проследить за движением всех молекул, из которых состоит газ. Их слишком много, и движутся они очень сложно. Нам и не нужно знать, как движется каждая молекула. Мы должны выяснить, к какому результату приводит движение всех молекул газа.

Характер движения всей совокупности молекул газа известен из опыта. Молекулы участвуют· в беспорядочном (тепловом) движении. Это означает, что скорость любой молекулы может оказаться как очень большой, так и очень малой. Направление движения молекул беспрестанно меняется при их столкновениях друг с другом.

Скорости отдельных молекул могут быть любыми, однако среднее значение модуля этих скоростей вполне определённое.

В дальнейшем нам понадобится среднее значение не самой скорости, а квадрата скорости - средняя квадратичная скорость. От этой величины зависит средняя кинетическая энергия молекул. А средняя кинетическая энергия молекул, как мы вскоре убедимся, имеет очень большое значение во всей молекулярно-кинетической теории. Обозначим модули скоростей отдельных молекул газа через. Среднее значение квадрата скорости определяется следующей формулой, где число молекул в газе.

Но квадрат модуля любого вектора равен сумме квадратов его проекций на оси координат.

Из курса механики известно, что при движении на. В случае, когда тело движется в пространстве, квадрат скорости равен.

Средние значения величин можно определить с помощью формул, подобных формуле (9.1). Между средним значением и средними значениями квадратов проекций существует такое же соотношение, как соотношение (9.2).

Действительно, для каждой молекулы справедливо равенство (9.2). Сложив такие равенства для отдельных молекул и разделив обе части полученного уравнения на число молекул N, мы придём к формуле (9.3).

Внимание! Так как направления трёх осей ОХ, ОУ и OZ вследствие беспорядочного движения молекул равноправны, средние значения квадратов проекций скорости равны друг другу.

Учитывая соотношение (9.4), подставим в формулу (9.3) v. вместо vt и v;. Тогда для среднего квадрата проекции скорости на ось ОХ получим средний квадрат проекции скорости равен 3 среднего квадрата самой скорости. Множитель появляется вследствие трёхмерности пространства и соответственно существования трёх проекций у любого вектора.

Скорости молекул беспорядочно меняются, но средний квадрат скорости вполне определённая величина.

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории (МКТ) газов. Строгий вывод уравнения молекулярно-кинетической теории газов довольно сложен. Поэтому мы ограничимся упрощённым выводом уравнения.

Предположим, что газ идеальны й и взаимодействие молекул со стенкой абсолютно упругое.

Вычислим давление газа, находящегося в сосуде, на боковую стенку площадью S, перпендикулярную координатной оси ОХ (рис. 9.2).

Уравнение молекулярно-кинетической теории - первое количественное соотношение, полученное в МКТ, поэтому оно называется основным. После вывода этого уравнения в XIX в. и экспериментального доказательства его справедливости началось быстрое развитие количественной теории, продолжающееся по сегодняшний день.

При ударе молекулы о стенку её импульс изменяется. При абсолютно упругом взаимодействии модули скорости молекулы до и после удара равны, и тогда изменение импульса Лр:r = 2 m 0 v :r. Согласно второму закону Ньютона изменение импульса молекулы равно импульсу подействовавшей на неё силы со стороны стенки сосуда, а согласно третьему закону Ньютона импульс силы, с которой молекула подействовала на стенку, будет иметь то же значение. Следовательно, в результате удара молекулы на стенку подействовала сила, импульс которой равен.

Молекул много, и каждая из них передаёт стенке при столкновении такой же импульс. За время t они передадут стенке импульс 2m0lvxlZ, где Z - число ударов всех молекул о стенку за это время. Число Z, очевидно, прямо пропорционально концентрации молекул, т. е. числу молекул в единице объёма, а также скорости молекул JvJ Чем больше эта скорость, тем больше молекул за время t успеют столкнуться со стенкой. Если бы молекулы стояли на месте , то столкновений их со стенкой не было бы совсем. Кроме того, число столкновений молекул со стенкой пропорционально площади S поверхности стенки: Z ~ nlxv lS t. Надо ещё учесть, что в среднем только половина всех молекул движется к стенке. Благодаря хаотичному движению направления движения молекул по и против оси ОХ равновероятны, поэтому вторая половина молекул движется в обратную сторону. Значит, число ударов молекул о стенку за время t и полный импульс силы, подействовавшей на стенку. Отсюда.

Учтём, что не все молекулы имеют одно и то же значение квадрата скорости. В действительности средняя сила, действующая на стенку, пропорциональна не, а среднему значению квадрата скорости.

Так как согласно формуле (9. 5) то F = 3nm. Таким образом, давление газа на стенку сосуда равно.

Уравнение (9.6) и есть основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов.

Формула (9.6) связывает макроскопическую величину - давление, которое может быть измерено манометром, - с микроскопическими параметрами, характеризующими молекулы: их массой, концентрацией, скоростью хаотичного движения.

Связь давления со средней кинетической энергией молекул. Если через обозначить среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекулы, то уравнение (9.6) можно записать в виде.

Давление идеального газа пропорционально произведению концентрации молекул и средней кинетической энергии поступательного движения молекул.