**24-28.01.22 Тема: Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов**

1 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

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 υ1, υ2, υ3, ... , υN. Среднее значение квадрата скорости определяется следующей формулой:

Среднее значение квадрата скорости

где N — число молекул в газе.

Но квадрат модуля любого вектора равен сумме квадратов его проекций на оси координат OX, OY, OZ.

Из курса механики известно, что при движении на плоскости υ2 = υ2x + υ2y. В случае, когда тело движется в пространстве, квадрат скорости равен:

υ2 = υ2x + υ2y + υ2z.                     (9.2)

|  |
| --- |
|  |

Средние значения величин υ2x, υ2y и υ2z можно определить с помощью формул, подобных формуле (9.1). Между средним значением http://xn--24-6kct3an.xn--p1ai/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0_10_%D0%BA%D0%BB_%D0%9C%D1%8F%D0%BA%D0%B8%D1%88%D0%B5%D0%B2/57.4.jpg и средними значениями квадратов проекций существует такое же соотношение, как соотношение (9.2):

http://xn--24-6kct3an.xn--p1ai/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0_10_%D0%BA%D0%BB_%D0%9C%D1%8F%D0%BA%D0%B8%D1%88%D0%B5%D0%B2/57.5.jpg

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).

|  |
| --- |
| Важно Внимание! Так как направления трёх осей OX, OY и OZ вследствие беспорядочного движения молекул равноправны, средние значения квадратов проекций скорости равны друг другу:  http://xn--24-6kct3an.xn--p1ai/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0_10_%D0%BA%D0%BB_%D0%9C%D1%8F%D0%BA%D0%B8%D1%88%D0%B5%D0%B2/57.6.jpg |

Учитывая соотношение (9.4), подставим в формулу (9.3) http://xn--24-6kct3an.xn--p1ai/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0_10_%D0%BA%D0%BB_%D0%9C%D1%8F%D0%BA%D0%B8%D1%88%D0%B5%D0%B2/57.7.jpg вместо http://xn--24-6kct3an.xn--p1ai/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0_10_%D0%BA%D0%BB_%D0%9C%D1%8F%D0%BA%D0%B8%D1%88%D0%B5%D0%B2/57.8.jpg и http://xn--24-6kct3an.xn--p1ai/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0_10_%D0%BA%D0%BB_%D0%9C%D1%8F%D0%BA%D0%B8%D1%88%D0%B5%D0%B2/57.9.jpg. Тогда для среднего квадрата проекции скорости на ось ОХ получим

для среднего квадрата проекции скорости

т. е. средний квадрат проекции скорости равен http://xn--24-6kct3an.xn--p1ai/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0_10_%D0%BA%D0%BB_%D0%9C%D1%8F%D0%BA%D0%B8%D1%88%D0%B5%D0%B2/57.11.jpg среднего квадрата самой скорости. Множитель http://xn--24-6kct3an.xn--p1ai/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0_10_%D0%BA%D0%BB_%D0%9C%D1%8F%D0%BA%D0%B8%D1%88%D0%B5%D0%B2/57.11.jpg появляется вследствие трёхмерности пространства и соответственно существования трёх проекций у любого вектора.

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

2 **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 идеальный 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).

|  |
| --- |
|  |

При ударе молекулы о стенку её импульс изменяется: Δрх = m0(υх - υ0x). При абсолютно упругом взаимодействии модули скорости молекулы до и после удара равны, и тогда изменение импульса Δрх = 2m0υx. 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 2m0|υx|.

Молекул много, и каждая из них передаёт стенке при столкновении такой же импульс. За время t они передадут стенке импульс 2m0|υx|Z, 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 |υx|. 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 ~ n|υx|St. 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 http://xn--24-6kct3an.xn--p1ai/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0_10_%D0%BA%D0%BB_%D0%9C%D1%8F%D0%BA%D0%B8%D1%88%D0%B5%D0%B2/57.13.jpg и полный импульс силы, подействовавшей на стенку, Ft = 2m0|υx|Zt. Отсюда F = nm0υ2xS.

Учтём, что не все молекулы имеют одно и то же значение квадрата скорости υ2x. В действительности средняя сила, действующая на стенку, пропорциональна не υ2x, а среднему значению квадрата скорости http://xn--24-6kct3an.xn--p1ai/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0_10_%D0%BA%D0%BB_%D0%9C%D1%8F%D0%BA%D0%B8%D1%88%D0%B5%D0%B2/57.14.jpg Так как согласно формуле (9.5) http://xn--24-6kct3an.xn--p1ai/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0_10_%D0%BA%D0%BB_%D0%9C%D1%8F%D0%BA%D0%B8%D1%88%D0%B5%D0%B2/57.15.jpg Таким образом, давление газа на стенку сосуда равно:

давление газа на стенку сосуда

|  |
| --- |
| Важно 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 http://xn--24-6kct3an.xn--p1ai/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0_10_%D0%BA%D0%BB_%D0%9C%D1%8F%D0%BA%D0%B8%D1%88%D0%B5%D0%B2/57.17.jpg обозначить среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекулы http://xn--24-6kct3an.xn--p1ai/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0_10_%D0%BA%D0%BB_%D0%9C%D1%8F%D0%BA%D0%B8%D1%88%D0%B5%D0%B2/57.18.jpg то уравнение (9.6) можно записать в виде

Связь давления со средней кинетической энергией молекул

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

|  |
| --- |
| **Ключевые слова для поиска информации по теме параграфа.** Основное уравнение МКТ. Средний квадрат скорости |

**Д/З Вопросы:**

1. Чем пренебрегают, когда реальный газ рассматривают как идеальный?

2. Газ оказывает давление на стенки сосуда. А давит ли один слой газа на другой?

3. Всегда ли равноправны средние значения проекций скорости движения молекул?

4. Чему равно среднее значение проекции скорости молекул на ось ОХ?

5. Почему молекула при соударении со стенкой действует на неё с силой, пропорциональной скорости, а давление пропорционально квадрату скорости молекулы?

6. Почему и как в основном уравнении молекулярно-кинетической теории появляется множитель http://xn--24-6kct3an.xn--p1ai/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0_10_%D0%BA%D0%BB_%D0%9C%D1%8F%D0%BA%D0%B8%D1%88%D0%B5%D0%B2/57.11.jpg ?

7. Как средняя кинетическая энергия молекул связана с концентрацией газа и его давлением на стенки сосуда?