**3.2. Основное уравнение МКТ газов.**

Простейшей моделью молекулярно-кинетической теории является модель ***идеального газа***. В кинетической модели идеального газа молекулы рассматриваются как идеально упругие шарики, взаимодействующие между собой и со стенками только во время упругих столкновений. Суммарный объем всех молекул предполагается малым по сравнению с объемом сосуда, в котором находится газ. Модель идеального газа достаточно хорошо описывает поведение реальных газов в широком диапазоне давлений и температур. Задача молекулярно-кинетической теории состоит в том, чтобы установить связь между **микроскопическими** (масса, скорость, кинетическая энергия молекул) и **макроскопическими параметрами** (давление, газ, температура).

В результате каждого столкновения между молекулами и молекул со стенкой скорости молекул могут изменяться по модулю и по направлению; на интервалах между последовательными столкновениями молекулы движутся равномерно и прямолинейно. В модели идеального газа предполагается, что все столкновения происходят по законам упругого удара, т. е. подчиняются законам механики Ньютона.

Используя модель идеального газа, вычислим ***давление газа на стенку сосуда***. В процессе взаимодействия молекулы со стенкой сосуда между ними возникают силы, подчиняющиеся третьему закону Ньютона. В результате проекция **υx** скорости молекулы, перпендикулярная стенке, изменяет свой знак на противоположный, а проекция **υy** скорости, параллельная стенке, остается неизменной (рис. 3.2.1).

|  |
| --- |
| http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/chapter3/section/paragraph2/images/3-2-1.gif |
| Рисунок 3.2.1.  Упругое столкновение молекулы со стенкой. |

Поэтому изменение импульса молекулы будет равно **2*m*0υx**, где ***m*0** – масса молекулы.

Выделим на стенке некоторую площадку ***S*** (рис. 3.2.2). За время **Δ*t*** с этой площадкой столкнуться все молекулы, имеющие проекцию скорости **υx**, направленную в сторону стенки, и находящиеся в цилиндре с основанием площади ***S*** и высотой **υxΔ***t*.

|  |
| --- |
| http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/chapter3/section/paragraph2/images/3-2-2.gif |
| Рисунок 3.2.2.  Определение числа столкновений молекул с площадкой *S*. |

Пусть в единице объема сосуда содержатся ***n*** молекул; тогда число молекул в объеме цилиндра равно ***nS*υxΔ*t***. Но из этого числа лишь половина движется в сторону стенки, а другая половина движется в противоположном направлении и со стенкой не сталкивается. Следовательно, число ударов молекул о площадку *S* за время Δ*t* равно

http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/javagifs/63135218099949-1.gif

Поскольку каждая молекула при столкновении со стенкой изменяет свой импульс на величину 2*m*0υx, то полное изменение импульса всех молекул, столкнувшихся за время Δ*t* с площадкой *S*, равно

http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/javagifs/63135218099981-2.gif

По законам механики это изменение импульса всех столкнувшихся со стенкой молекул происходит под действием импульса силы ***F*Δ*t***, где ***F*** – некоторая средняя сила, действующая на молекулы со стороны стенки на площадке ***S***. Но по 3-му закону Ньютона такая же по модулю сила действует со стороны молекул на площадку ***S***. Поэтому можно записать:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/javagifs/63135218099996-3.gif |  |

Разделив обе части на ***S*Δ*t***, получим:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/javagifs/63135218100106-4.gif |  |

где ***p*** – давление газа на стенку сосуда.

При выводе этого соотношения предполагалось, что все ***n*** молекул, содержащихся в единице объема газа, имеют одинаковые проекции скоростей на ось *X*. На самом деле это не так.

В результате многочисленных соударений молекул газа между собой и со стенками в сосуде, содержащем большое число молекул, устанавливается некоторое статистическое распределение молекул по скоростям. При этом все направления векторов скоростей молекул оказываются равноправными (равновероятными), а модули скоростей и их проекции на координатные оси подчиняются определенным закономерностям. Распределение молекул газа по модулю скоростей называется ***распределением Максвелла*** (1860 г.). Дж. Максвелл вывел закон распределения молекул газа по скоростям, исходя из основных положений молекулярно-кинетической теории. На рис. 3.2.3 представлены типичные кривые распределения молекул по скоростям. По оси абсцисс отложен модуль скорости, а по оси ординат – относительное число молекул, скорости которых лежат в интервале от **υ** до **υ + Δυ**. Это число равно площади выделенного на рис. 3.2.3 столбика.

|  |
| --- |
| http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/chapter3/section/paragraph2/images/3-2-3.gif |
| Рисунок 3.2.3.  Распределение молекул по скоростям. *T*2 > *T*1. |

Характерными параметрами распределения Максвелла являются ***наиболее вероятная скорость*** υв, соответствующая максимуму кривой распределения, и ***среднеквадратичная скорость*** http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/javagifs/63135218100153-5.gifгде http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/javagifs/63135218100153-6.gif– среднее значение квадрата скорости.

С ростом температуры максимум кривой распределения смещается в сторону больших скоростей, при этом **υв** и **υкв** увеличиваются.

|  |
| --- |
| [http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/models/screensh/Maxwell.jpg](http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/models/Maxwell.html) |
| Модель. Распределение Максвелла. |

Чтобы уточнить формулу для давления газа на стенку сосуда, предположим, что все молекулы, содержащиеся в единице объема, разбиты на группы, содержащие ***n*1, *n*2, *n*3** и т. д. молекул с проекциями скоростей **υx1, υx2, υx3** и т. д. соответственно. При этом http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/javagifs/63135218100215-7.gifКаждая группа молекул вносит свой вклад http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/javagifs/63135218100215-8.gifв давление газа. В результате соударений со стенкой молекул с различными значениями проекций **υx**i скоростей возникает суммарное давление

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/javagifs/63135218100231-9.gif |  |

http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/javagifs/63135218100246-10.gifВходящая в это выражение сумма – это сумма квадратов проекций **υx** всех ***n*** молекул в единичном объеме газа. Если эту сумму разделить на ***n***, то мы получим среднее значение квадрата проекции **vx** скорости молекул:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/javagifs/63135218100262-12.gif |  |

Теперь формулу для давления газа можно записать в виде

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | |  | | --- | | http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/javagifs/63135218100278-13.gif | |  |

Так как все направления для векторов скоростей молекул равновероятны, среднее значение квадратов их проекций на координатные оси равны между собой:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/javagifs/63135218100278-14.gif |  |

Последнее равенство вытекает из формулы: http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/javagifs/63135218100309-15.gif

Формула для среднего давления газа на стенку сосуда запишется в виде

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | |  | | --- | | http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/javagifs/63135218100309-16.gif | |  |

Это уравнение устанавливает связь между давлением ***p*** идеального газа, массой молекулы ***m*0**, концентрацией молекул ***n*,** средним значением квадрата скорости http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/javagifs/63135218100325-17.gifи средней кинетической энергией http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/javagifs/63135218100340-18.gifпоступательного движения молекул. Его называют ***основным уравнением*** молекулярно-кинетической теории газов.

Таким образом, **давление газа равно двум третям средней кинетической энергии поступательного движения молекул, содержащихся в единице объема**.

В основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов входит произведение концентрации молекул ***n*** на среднюю кинетическую энергию **Ek** поступательного движения. Если предположить, что газ находится в сосуде неизменного объема ***V***, то http://www.college.ru/physics/courses/op25part1/content/javagifs/63135218100387-20.gif(*N* – число молекул в сосуде). В этом случае изменение давления Δ*p* пропорционально изменению средней кинетической энергии Δ**Ek.**