**Лекция 2. Основы молекулярно-кинетической теории.**

***Молекулярная физика*** – *раздел физики, в котором изучаются физические свойства тел в различных агрегатных состояниях на основе рассмотрения их молекулярного строения, силы взаимодействия между частицами, образующими тела и характеры теплового движения этих частиц.*

Многочисленные исследования, проведенные этими учеными позволили сформулировать **основные положения молекулярно-кинетической теории – МКТ.**

МКТ объясняет строение и свойства тел на основе закономерностей движения и взаимодействия молекул, из которых состоят тела**.**

В основе МКТ лежат три важных положения, подтвержденные экспериментально и теоретически.

* **Все тела состоят из мельчайших частиц – атомов, молекул, в состав которых входят еще более мелкие элементарные частицы (электроны, протоны, нейтроны). Строение любого вещества дискретно (прерывисто).**
* **Атомы и молекулы вещества всегда находятся в непрерывном хаотическом движении.**
* **Между частицами любого вещества существуют силы взаимодействия – притяжения и отталкивания. Природа этих сил электромагнитная.**

Эти положения подтверждаются опытным путем.

Опытное обоснование 1 положения.

Все тела состоят из мельчайших частиц. Во-первых, об этом говорит возможность деления вещества (все тела можно разделить на части).

Наиболее ярким экспериментальным подтверждением представлений молекулярно-кинетической теории о беспорядочном движении атомов и молекул является **броуновское движение**.

Оно было открыто английским ботаником Р. Броуном (1827 г.). В 1827 году англ. ботаник Броун, изучая внутреннее строение растений с помощью микроскопа обнаружил, что частички твердого вещества в жидкой среде совершают непрерывное хаотическое движение.

*Тепловое движение взвешенных в жидкости (или газе) частиц получило название***броуновского движения.**

Броуновские частицы движутся под влиянием беспорядочных ударов молекул. Из-за хаотического теплового движения молекул эти удары никогда не уравновешивают друг друга. В результате скорость броуновской частицы беспорядочно меняется по модулю и направлению, а ее траектория представляет собой сложную зигзагообразную кривую. Теория броуновского движения была создана А. Эйнштейном (1905 г.). Экспериментально теория Эйнштейна была подтверждена в опытах французского физика Ж. Перрена (1908–1911 гг.).

Причиной броуновского движения является непрерывное хаотическое движение молекул жидкости или газа, которые , беспорядочно ударяясь со всех сторон о частичку, приводят её в движение. *Причина броуновского движения частицы в том, что удары молекул о неё не компенсируются.*Значит броуновское движение является еще и опытным обоснованием 2 положения МКТ.

Непрерывное движение молекул любого вещества (твердого, жидкого, газообразного) подтверждается многочисленными опытами по диффузии.

**Диффузией***называют явление самопроизвольного проникновения молекул одного вещества в промежутки между молекулами другого. Т.е. это самопроизвольное перемешивание веществ.*

Если пахучее вещество (духи) внести в помещение, то через некоторое время запах этого вещества распространится по всему помещению. Это свидетельствует о том, что молекулы одного вещества без воздействия внешних сил проникают в другое. Диффузия наблюдается и в жидкостях, и в твердых телах.

При изучении строения вещества было установлено, что между молекулами одновременно действуют силы притяжения и отталкивания, называемые молекулярными силами. Это силы электромагнитной природы.

Способность твердых тел сопротивляться растяжению, особые свойства поверхности жидкости приводят к выводу , что между молекулами действуют *силы притяжения*.

Малая сжимаемость весьма плотных газов и особенно жидкостей и твердых тел означает, что между молекулами существуют *силы отталкивания*.

Эти силы действуют одновременно. Если бы этого не было, то тела не были бы устойчивыми: либо разлетелись бы на частицы, либо слипались.

*Межмолекулярное взаимодействие* – это взаимодействие электрически нейтральных молекул и атомов.

Силы, действующие между двумя молекулами, зависят от расстояния между ними. Молекулы представляют собой сложные пространственные структуры, содержащие как положительные, так и отрицательные заряды. Если расстояние между молекулами достаточно велико, то преобладают силы межмолекулярного притяжения. На малых расстояниях преобладают силы отталкивания. Зависимости результирующей силы *F* и потенциальной энергии *Ep* взаимодействия между молекулами от расстояния между их центрами качественно изображены на рисунке. При некотором расстоянии *r* = *r*0 сила взаимодействия обращается в нуль. Это расстояние условно можно принять за диаметр молекулы. Потенциальная энергия взаимодействия при *r* = *r*0 минимальна. Чтобы удалить друг от друга две молекулы, находящиеся на расстоянии *r*0, нужно сообщить им дополнительную энергию *E*0. Величина *E*0называется **глубиной потенциальной ямы** или ***энергией связи***.

Между электронами одной молекулы и ядрами другой действуют силы притяжения, которые условно принято считать отрицательными .

Одновременно между электронами молекул и их ядрами действуют силы отталкивания, которые условно считают положительными (верхняя часть графика). На расстоянии равном размеру молекул результирующая сила равна нулю, т.е. силы притяжения уравновешивают силы отталкивания. Это наиболее устойчивое расположение молекул. При увеличении расстояния притяжение превосходит силу отталкивания, при уменьшении расстояния между молекулами – наоборот.

*Атомы и молекулы взаимодействуют и значит обладают* **потенциальной энергией**.

*Атомы и молекулы находятся в постоянном движении, и значит, обладают***кинетической энергией.**

**Масса и размеры молекул**

Большинство веществ состоит из молекул, поэтому для объяснения свойств макроскопических объектов, объяснения и предсказания явлений важно знать основные характеристики молекул.

**Молекулой***называют наименьшую устойчивую частицу данного вещества, обладающую его основными химическими свойствами.*

Молекула состоит из ещё более мелких частиц – атомов, которые в свою очередь , состоят из электронов и ядер.

**Атомом***называют наименьшую частицу данного химического элемента.*

**Размеры молекул**очень малы.

*Порядок величины диаметра молекулы 1\*10-8см=1\*10-10м*

*Порядок величины объёма молекулы 1\*10-20м3*

О том, что размеры молекул малы можно судить и из опыта. В 1 л (м3) чистой воды разведем 1 м3 зеленых чернил, тете разбавим чернила в 1 000 000 раз. Увидим, что раствор имеет зеленую окраску и вместе с тем однороден. Это говорит о том, что даже при разбавлении в 1 000 000 раз в воде находится большое количество молекул красящего вещества. Этот опыт показывает, как малы размеры молекул.

*В 1 см3 воды содержится 3,7\*10-8 молекул.*

*Порядок величины массы молекул 1\*10-23 г =1\*10-26кг*

В молекулярной физике принято характеризовать массы атомов и молекул не их абсолютными значениями (в кг), а относительными безразмерными величинами относительной атомной массой и относительной молекулярной массой.

По международному соглашению в качестве единичной атомной массы m0принимается 1/12 массы изотопа углерода 12С (m0С):

*m0 =1/12 m0С=1,66 \*10-27*

**Относительную молекулярную массу**можно определить, если абсолютное значение массы молекулы (mмолв кг) разделить на единичную атомную массу.

*M0 = mмол/ 1/12 m0С*

Относительная молекулярная (атомарная) масса вещества (из таблицы Менделеева)

*714N Азот           M0N = 14         M0N2= 28*

Относительное число атомов или молекул, содержащихся в веществе характеризуется физической величиной, называемой количеством вещества.

**Количество вещества**ע – *это отношение числа молекул (атомов) N в донном макроскопическом теле к числу молекул в 0,012 кг углерода NA*



Количество вещества выражают в молях

**Один моль –***это количество вещества, в котором столько же молекул (атомов), сколько атомов содержится в 0,012 кг углерода.*

Моль любого вещества содержит одинаковое число молекул. Это число называют **постоянной Авогадро NA =6, 02 \* 1023моль -1**

*Масса одного моля вещества называется* **молярной массой.**



Число молекул в данной массе вещества: 

Масса вещества (любого количества вещества): 

Определение молярной массы: 

Понятие температуры – одно из важнейших в молекулярной физике.

***Температура****- это физическая величина, которая характеризует степень нагретости тел.*

*Беспорядочное хаотическое движение молекул называется***тепловым движением**.

Кинетическая энергия теплового движения растет с возрастанием температуры. При низких температурах средняя кинетическая энергия молекулы может оказаться небольшой. В этом случае молекулы конденсируются в жидкое или твердое вещество; при этом среднее расстояние между молекулами будет приблизительно равно диаметру молекулы. При повышении температуры средняя кинетическая энергия молекулы становится больше, молекулы разлетаются, и образуется газообразное вещество.

Понятие температуры тесно связано с понятием теплового равновесия. Тела, находящиеся в контакте друг с другом, могут обмениваться энергией. *Энергия, передаваемая одним телом другому при тепловом контакте, называется* **количеством теплоты**.

Рассмотрим пример. Если положить нагретый металл на лед, то лед начнет плавится, а металл – охлаждаться до тех пор, пока температуры тел не станут одинаковыми. При контакте между двумя телами разной температуры происходит теплообмен, в результате которого энергия металла уменьшается, а энергия льда увеличивается.

*Энергия при теплообмене всегда передается от тела с более высокой температурой к телу с более низкой температурой.* В конце концов, наступает состояние системы тел, при котором теплообмен между телами системы будет отсутствовать. Такое состояние называют **тепловым равновесием**.

**Тепловое равновесие**– *это такое состояние системы тел, находящихся в тепловом контакте, при котором не происходит теплопередачи от одного тела к другому, и все макроскопические параметры тел остаются неизменными.*

**Температура**– *это физический параметр, одинаковый для всех тел, находящихся в тепловом равновесии.* Возможность введения понятия температуры следует из опыта и носит название нулевого закона термодинамики.

**Тела, находящиеся в тепловом равновесии, имеют одинаковые температуры.**

Для измерения температур чаще всего используют свойство жидкости изменять объем при нагревании (и охлаждении).

*Прибор, с помощью которого измеряется температура, называется***термометр.**

Для создания термометра необходимо выбрать термометрическое вещество (например, ртуть, спирт) и термометрическую величину, характеризующую свойство вещества (например, длина ртутного или спиртового столбика). В различных конструкциях термометров используются разнообразные физические свойства вещества (например, изменение линейных размеров твердых тел или изменение электрического сопротивления проводников при нагревании). Термометры должны быть откалиброваны. Для этого их приводят в тепловой контакт с телами, температуры которых считаются заданными. Чаще всего используют простые природные системы, в которых температура остается неизменной, несмотря на теплообмен с окружающей средой – это смесь льда и воды и смесь воды и пара при кипении при нормальном атмосферном давлении.

Обыкновенный**жидкостный термометр**состоит из небольшого стеклянного резервуара, к которому присоединена стеклянная трубка с узким внутренним каналом. Резервуар и часть трубки наполнены ртутью. Температуру среды, в которую погружен термометр определяют по положению верхнего уровня ртути в трубке. Деления на шкале условились наносить следующим образом. Цифру 0 ставят в том месте шкалы, где устанавливается уровень столбика жидкости, когда термометр опущен в тающий снег (лед), цифру 100 – в том месте, где устанавливается уровень столбика жидкости, когда термометр погружен в пары воды, кипящей при нормальном давлении (105 Па). Расстояние между этими отметками делят на 100 равных частей, называемых градусами. Такой способ деления шкалы введен Цельсием. Градус по шкале Цельсия обозначают ºС.



По температурной ***шкале Цельсия*** точке плавления льда приписывается температура 0 °С, а точке кипения воды – 100 °С. Изменение длины столба жидкости в капиллярах термометра на одну сотую длины между отметками 0 °С и 100 °С принимается равным 1 °С.

В ряде стран (США) широко используется ***шкала Фаренгейта*** (*T*F), в которой температура замерзающей воды принимается равной 32 °F, а температура кипения воды равной 212 °F. Следовательно,



*Ртутные термометры* применяют для измерения температуры в области от -30 ºС до +800 ºС. Наряду с **жидкостными**ртутными и спиртовыми термометрами применяются **электрические** и **газовые** термометры.

**Электрический термометр – термосопротивление –**в нем используется зависимость сопротивления металла от температуры.

Особое место в физике занимают ***газовые термометр***, в которых термометрическим веществом является разреженный газ (гелий, воздух) в сосуде неизменного объема (*V* = const), а термометрической величиной – давление газа *p*. Опыт показывает, что давление газа (при *V* = const) растет с ростом температуры, измеренной по шкале Цельсия.



**Чтобы** проградуировать газовый термометр постоянного объема, можно измерить давление при двух значениях температуры (например, 0 °C и 100 °C), нанести точки *p*0 и *p*100 на график, а затем провести между ними прямую линию. Используя полученный таким образом калибровочный график, можно определять температуры, соответствующие другим значениям давления.

 

Газовые термометры громоздки и неудобны для практического применения: они используются в качестве прецизионного стандарта для калибровки других термометров.

Показания термометров, заполненных различными термометрическими телами, обычно несколько различаются. Чтобы точное определение температуры не зависело от вещества, заполняющего термометр, вводится *термодинамическая шкала температур.*

Чтобы её ввести, рассмотрим, как зависит давление газа от температуры, когда его масса и объём остаются постоянными.

**Термодинамическая шкала температур. Абсолютный нуль.**

Возьмем закрытый сосуд с газом, и будем нагревать его, первоначально поместив в тающий лед. Температуру газа t определим с помощью термометра, а давление p манометром. С увеличением температуры газа его давление будет возрастать. Такую зависимость нашел французский физик Шарль. График зависимости p от t, построенный на основании такого опыта, имеет вид прямой линии.



Если продолжить график в область низких давлений, можно определить некоторую «гипотетическую» температуру, при которой давление газа стало бы равным нулю. Опыт показывает, что эта температура равна –273,15 °С и не зависит от свойств газа. Невозможно на опыте получить путем охлаждения газ в состоянии с нулевым давлением, так как при очень низких температурах все газы переходят в жидкие или твердые состояния. Давление идеального газа определяется ударами хаотически движущихся молекул о стенки сосуда. Значит, уменьшение давления при охлаждении газа объясняется уменьшением средней энергии поступательного движения молекул газа Е; давление газа будет равно нулю, когда станет равна нулю энергия поступательного движения молекул.

Английский физик У. Кельвин (Томсон) выдвинул идею о том, что полученное значение абсолютного нуля соответствует прекращению поступательного движения молекул всех веществ. *Температуры ниже абсолютного нуля в природе быть не может. Это предельная температура при которой давление идеального газа равно нулю.*

*Температуру, при которой должно прекратиться поступательное движение молекул, называют***абсолютным нулем (**или**нулем Кельвина).**

Кельвин в 1848 г. предложил использовать точку нулевого давления газа для построения новой температурной шкалы – **термодинамической шкалы температур**(**шкала Кельвина**). За начало отсчета по этой шкале принята температура абсолютного нуля.

В системе СИ принято единицу измерения температуры по шкале Кельвина называть **кельвином** и обозначать буквой К.

Размер градуса кельвина определяют так, чтобы он совпадал с градусом Цельсия, т.е*1К соответствует 1ºС.*



Температура, отсчитанная по термодинамической шкале температур, обозначается Т. Её называют **абсолютной температурой** или **термодинамической температурой**.

Температурная шкала Кельвина называется ***абсолютной шкалой температур***. Она оказывается наиболее удобной при построении физических теорий.

Кроме точки нулевого давления газа, которая называется ***абсолютным нулем температуры***, достаточно принять еще одну фиксированную опорную точку. В шкале Кельвина в качестве такой точки используется **температура тройной точки воды**(0,01 °С), в которой в тепловом равновесии находятся все три фазы – лед, вода и пар. По шкале Кельвина температура тройной точки принимается равной 273,16 К.

**Связь между абсолютной температурой и температурой по шкале** **Цельсия**выражается формулой **Т = 273,16 + t**   , где t – температура в градусах Цельсия.

Чаще пользуются приближенной формулой Т = 273 + t             и             t = Т – 273

Абсолютная температура не может быть отрицательной.

*Температура газа – мера средней кинетической энергии движения молекул.*

В опытах Шарлем была найдена зависимость p от t. Эта же зависимость будет и между р и Т: т.е. *между р и Т прямопропорциональная зависимость*.

С одной стороны, давление газа прямопропорционально его температуре, с другой стороны, мы уже знаем, что давление газа прямопропорционально средней кинетической энергии поступательного движения молекул Е (p = 2/3\*E\*n ). Значит, Е прямопропорциональна Т.

Немецкий ученый Больцман предложил ввести коэффициент пропорциональности (3/2)k в зависимость Е от Т

**Е = (3/2)kТ**

Из этой формулы следует, что *среднее значение кинетической энергии поступательного движения молекул не зависит от природы газа, а определяется только его температурой.*

Так как Е = m\*v2/2, то m\*v2/2 = (3/2)kТ

откуда средняя квадратичная скорость молекул газа

 

Постоянная величина k называется **постоянная Больцмана.**

В СИ она имеет значение k = 1,38\*10-23 Дж/К

Если подставить значение Е в формулу     p = 2/3\*E\*n   , то получим

 p **=**2/3\*(3/2)kТ\* n, сократив, получим

**p = n\* k\*Т**

*Давление газа не зависит от его природы, а определяется только концентрацией молекул n и температурой газа Т.*

Соотношение

p = 2/3\*E\*n

устанавливает связь между микроскопическими (значения определяются с помощью расчетов) и макроскопическими (значения можно определить по показаниям приборов) параметрами газа, поэтому его принято называть **основным уравнением молекулярно – кинетической теории газов**.