

2 сессия: Основные положения МКТ

Тема 1: Основные положения МКТ. Масса и размеры молекул. Основное уравнение МКТ.

Согласно **основным положениям** молекулярно – кинетической теории (МКТ)

- все тела состоят из молекул (или атомов)
- между молекулами на малых расстояниях действуют силы отталкивания, а на больших (немного больше размеров молекул) – силы притяжения.
- молекулы участвуют в хаотичном тепловом движении.

Массы молекул малы, а число их в телах огромно. Поэтому вместо абсолютных значений масс молекул и их количества в макроскопических телах используются относительные величины.

Относительной молекулярной массой называется отношение массы молекулы к $1/12$ массы атома углерода.

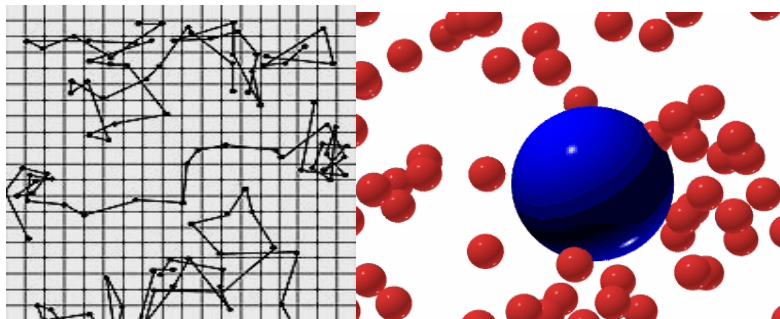
Количество вещества выражается в молях. Моль – количество вещества, содержащее столько же молекул, сколько содержится атомов в $0,012$ кг углерода.

Количество вещества обозначается буквой ν (ню). Число молекул в 1 моле любого вещества постоянно и равно $6 \cdot 10^{23}$. Данное число называется **постоянной Авогадро**.

$\nu = N / N_A$ Количество вещества равно отношению числа молекул N к постоянной Авогадро N_A .

Молярной массой называется масса вещества, взятого в количестве одного моля. Молярная масса обозначается буквой M . основная единица измерения 1 кг/моль. Определяется по формуле: $M = m_0 N_A$, где m_0 – масса одной молекулы.

Доказательством того, что молекулы участвуют в хаотичном тепловом движении, является **броуновское движение** – тепловое движение взвешенных в жидкости или газе частиц (впервые наблюдал английский ботаник Броун в 1827 году).



Газ, состоящий из молекул, не взаимодействующих друг с другом, называется **идеальным газом**. Размерами этих молекул можно пренебречь.

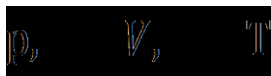
Согласно основному уравнению МКТ, **давление газа** пропорционально произведению концентрации молекул газа на среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекул: $P = 2/3 nE$, где $E = mv^2/2$.


Давление газов вызвано ударами молекул о стенки сосуда, обозначается буквой P , измеряется в паскалях ($1 \text{ Па} = 1 \text{ н/м}^2$). Буквой n обозначается концентрация, измеряется в $1/\text{м}^3$. E – средняя кинетическая энергия, измеряется в джоулях (Дж). m – масса, измеряется в кг, v – скорость (м/с).

Тема 2: Температура как мера средней кинетической энергии молекул.

Абсолютная температура.

Внутреннее состояние макроскопических тел определяется макроскопическими параметрами:



 (P – давление, V – объем, t – температура).

Температура является мерой интенсивности теплового движения молекул и характеризует состояние теплового равновесия системы макроскопических тел.

Температуру обычно измеряют термометром. В любом термометре используется изменение какого – либо макроскопического параметра в зависимости от температуры.

В отличие от жидкостей и твердых тел все газы, которые можно считать идеальными. При нагревании газы одинаково меняют объем при постоянном давлении или меняют давление при постоянном объеме.

По этой причине для установления температурной шкалы удобно использовать газы (газовая шкала температур).

Опыт показывает, что

$$\frac{pV}{T} = \nu N = \text{const}$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана.

Средняя кинетическая энергия движения молекул прямо пропорциональна абсолютной температуре:
 $E = 3/2 kT$.

Абсолютная температура T (К) = t ($^{\circ}\text{C}$) + 273 ($^{\circ}\text{C}$), где t – температура по шкале Цельсия.

Единица температуры в СИ – кельвин (К).

Минимальной температуре соответствует нуль по абсолютной шкале.

Тема: Уравнение состояния идеального газа. Газовые законы.

Все разряженные газы (идеальные газы) подчиняются уравнению Менделеева – Клапейрона:

$$pV = \frac{m}{M} RT$$

$R = 8,31$ Дж/ (моль К)– универсальная газовая постоянная, T – абсолютная температура.

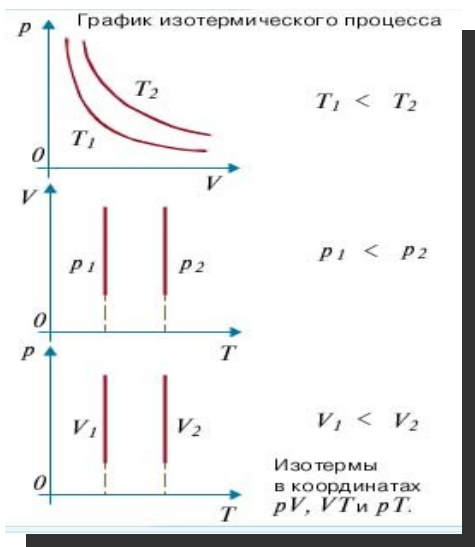
Уравнение состояния содержит в себе в качестве частных случаев газовые законы, связывающие изменение двух термодинамических параметров при неизменном значении третьего.

Количественные зависимости между двумя параметрами газа при фиксированном значении третьего параметра называют **газовыми законами**.

Процессы

Изотермический

Математическая запись закона Бойля- Мариотта:
1662 г., 1676 г.
 $pV = \text{const}$
при $T = \text{const}$.



Определение: Процесс изменения состояния термодинамической системы макроскопических тел при постоянной температуре называется изотермическим.
Формулировка: Для газа данной массы произведение давления газа на его объем постоянно, если температура газа не меняется.

Для поддержания температуры газа постоянной необходимо, чтобы он мог обмениваться теплотой с большой системой – термостатом.

Изохорный



Для газа данной массы отношение давления газа к температуре постоянно, если объем газа не меняется.

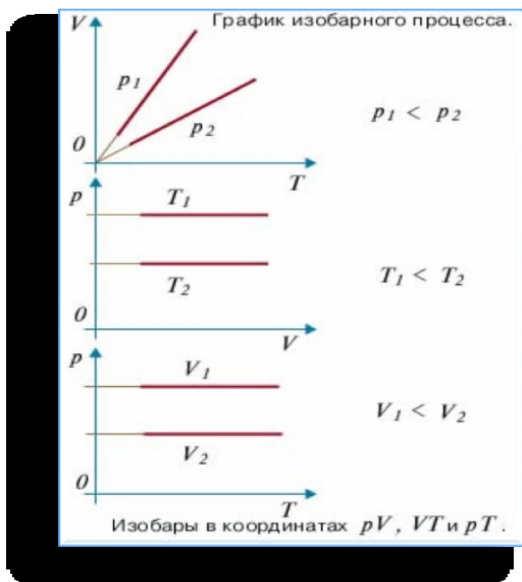
Математическая запись закона Шарля:
 $p/T = \text{const}$ при $V = \text{const}$.

Определение: процесс изменения состояния термодинамической системы при постоянном объеме называют изохорным

Изобарный

Закон Гей-Люссака. 1802 г.
Формулировка: Для газа данной массы отношение объема газа к температуре постоянно, если давление газа меняется.

Математическая запись закона Гей-Люссака:
 $V/T = \text{const}$ при $p = \text{const}$.



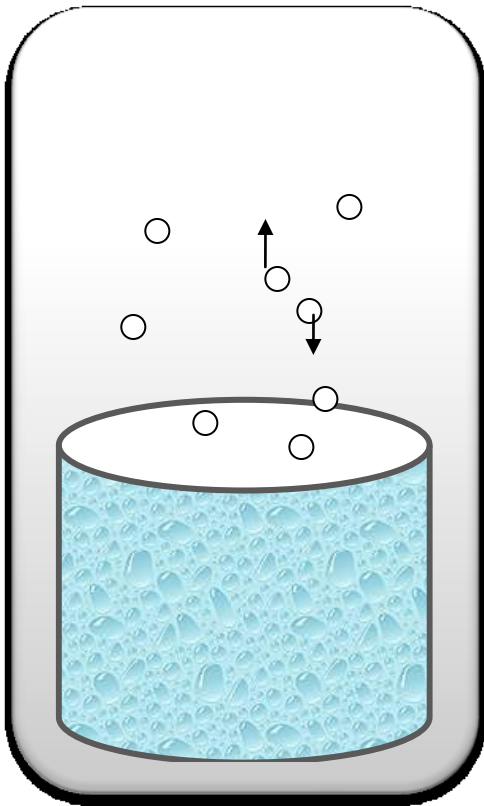
Простейшие примеры изобарных процессов: нагревание воды в открытом сосуде, расширение газа в цилиндре со свободно ходящим поршнем. В обоих случаях давление равно атмосферному.

Тема 3: Насыщенный и ненасыщенный пар. Испарение. Кипение.

Молекулы жидкости движутся, следовательно, обладают кинетической энергией. В какой – то момент кинетическая энергия отдельных молекул становится настолько большой, что они окажутся способными вылететь из жидкости, преодолев силы притяжения остальных молекул. Процесс превращения жидкости в пар называется **испарением** (испарение зависит от рода жидкости, площади поверхности, наличия воздушных потоков).

Вылетевшая молекула может навсегда удалиться от поверхности жидкости, но может снова вернуться в жидкость. Процесс превращения пара в жидкость называется **конденсацией**.

Если сосуд с жидкостью накрыть, то в какой – то момент количество молекул, покинувших жидкость станет равным числу молекул, вернувшихся в жидкость. В результате в закрытом сосуде при постоянной температуре установится **динамическое** (подвижное) **равновесие**.



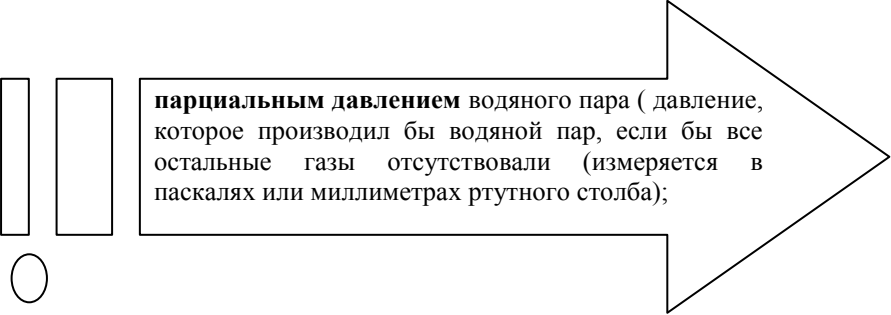
Пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью, называется **насыщенным** паром. Давление насыщенного пара не зависит от объема и определяется только температурой.

При увеличении температуры жидкости интенсивность испарения увеличивается. При кипении по всему объему жидкости образуются быстро растущие пузырьки пара, которые всплывают на поверхность. Температура кипения жидкости остается постоянной. Если верхние слои жидкости имеют более низкую температуру, то в этих слоях происходит конденсация пара в пузырьках. Давление стремительно падает и пузырьки захлопываются. Когда жидкость достаточно прогреется, пузырьки перестанут захлопываться и всплывут на поверхность. Пока жидкость кипит, ее температура не меняется.

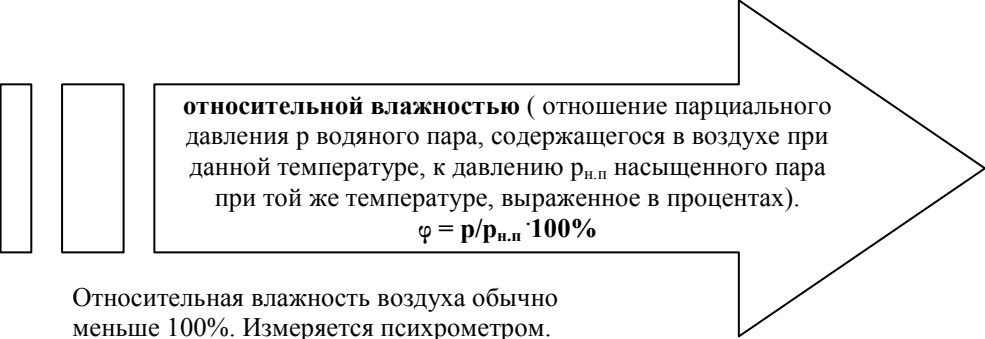
Температура кипения зависит от внешнего давления. Чем больше внешнее давление, тем выше температура кипения. У каждой жидкости своя температура кипения, которая зависит от давления насыщенного пара. Чем выше давление насыщенного пара, тем ниже температура

Атмосферный воздух представляет собой смесь различных газов и водяного пара. Содержание водяного пара в воздухе, т.е. **влажность** воздуха, характеризуют:

абсолютной влажностью, которая показывает плотность водяного пара в воздухе (измеряется в $\text{кг}/\text{м}^3$);



парциальным давлением водяного пара (давление, которое производил бы водяной пар, если бы все остальные газы отсутствовали (измеряется в паскалях или миллиметрах ртутного столба);



относительной влажностью (отношение парциального давления p водяного пара, содержащегося в воздухе при данной температуре, к давлению $p_{н.п}$ насыщенного пара при той же температуре, выраженное в процентах).

$$\varphi = p/p_{н.п} \cdot 100\%$$

Относительная влажность воздуха обычно меньше 100%. Измеряется психрометром.

Тема 4: Кристаллические и аморфные тела.

Твердые тела сохраняют свой объем и форму. Они находятся преимущественно в кристаллическом состоянии.

Кристаллы – это твердые тела, атомы или молекулы которых занимают определенные, упорядоченные положения в пространстве. Кристаллы имеют плоские грани. Главное следствие упорядоченного строения кристаллов – это зависимость физических свойств кристалла от выбранного в кристалле направления. Данная зависимость называется **анизотропией**. Это проявляется в том, что кристаллы обладают разной прочностью по разным направлениям, по – разному проводят электрический ток и тепло, по разному преломляют свет. Все кристаллические тела анизотропны.

Твердые тела, состоящие из большого числа маленьких кристалликов, называют **поликристаллическими**. Одиночные кристаллы называют **монокристаллическими**. Большинство твердых тел – поликристаллы, т.к. состоят из сросшихся кристалликов. Одиночные кристаллы имеют правильную геометрическую форму, и их свойства различны по разным направлениям (анизотропия).

Не все твердые тела – кристаллы. Существует множество аморфных тел. У аморфных тел нет строгого порядка в расположении атомов. Только ближайшие атомы – соседи располагаются в некотором порядке. Все аморфные тела – **изотропны**, т.е. их физические свойства одинаковы по всем направлениям. При внешних воздействиях аморфные тела

обнаруживают одновременно упругие свойства (при низких температурах), подобно твердым телам, и текучесть, подобно жидкости (по мере повышения температуры аморфные тела постепенно размягчаются). Определенной температуры плавления у аморфных тел нет, в отличие от кристаллических тел.

Лабораторные исследования по теме «Основные положения молекулярно – кинетической теории» Оценка размеров молекул.

Цель работы: определение размеров молекул оливкового (подсолнечного) масла

Оборудование: масло, объемом 5 мл, чистая (кипяченая или дистиллированная) вода объемом 5л, чистый сосуд глубиной 3 -5 см и размером не менее 40 × 40 см, мензурка (шприц) с ценой деления 1мл для измерения объема жидкости, пипетка, мел, наждачная бумага, линейка.

Ход работы:

Если нанести небольшую каплю масла на поверхность воды, то она растечется по ней, образуя тонкую пленку. Толщина образовавшейся пленки d не может быть меньше диаметра молекулы масла. Поэтому значение d , которое можно вычислить, разделив объем капли V на площадь поверхности пленки S , является грубой оценкой размеров молекулы масла.

Для определения объема одной капли возьмите пустую мензурку и накапайте из пипетки в нее несколько капель, чтобы уровень масла в мензурке совпал с одним из ее делений. Разделив весь объем, который занимают капли масла на количество капель, получите объем одной капли. Данные занесите в таблицу.

Наполните сосуд водой так, чтобы глубина воды в нем была около 1см. Чтобы поверхность воды была видимой, посыпьте ее порошком мела, который легко приготовить, потерев кусок мела о наждачную бумагу.

Пипеткой нанесите каплю масла на поверхность воды в центре сосуда и подождите, пока пятно займет наибольшую площадь. Измерьте средний диаметр масляного пятна D и вычислите его площадь S по формуле данной в таблице. Затем, разделив V на S , вычислите толщину пленки d , оценив приблизительно размеры молекулы масла.

Если размеры сосуда достаточно велики, убедитесь в том, что площадь масляного пятна, образовавшегося от двух капель масла, в два раза больше, чем от одной капли.

Число капель N	Общий объем V_N , см ³	Объем одной капли $V = V_N / N$, см ³	Диаметр масляного пятна D , см	Площадь пятна $S = 0,78 D^2$, см ²	Толщина пленки $d = V / S$, см

Примеры решения задач:

Задача 1. В баллоне содержится 100 кг сжатого воздуха. Сколько молекул воздуха содержится в баллоне?

Решение

Молярная масса воздуха равна 0,029 кг/моль (из таблицы). Число молекул рассчитаем по формуле: $N = m N_A / M$.
Подставим данные и получим $N \approx 2 \cdot 10^{27}$

Ответ: $N \approx 2 \cdot 10^{27}$

Задача 2. Средняя скорость теплового движения молекулы кислорода в баллоне $v = 440$ м/с. Найти температуру газа по шкале Цельсия.

Решение

Из выражения $E_{cp} = 3/2 kT$, выразим температуру $T = 2E_{cp}/3k$, но средняя кинетическая энергия молекулы может быть выражена через среднюю скорость: $E_{cp} = m_0 v_{cp}^2/2$; $m_0 = M/N_A$.

Молярную массу кислорода находим из таблицы: $M = 0,032$ кг/моль.

Рассчитаем m_0 , затем E_{cp} . Подставим полученные значения в выражение $T = 2E_{cp}/3k$ и получит $T = 250K$. $t^{\circ}C = 250 - 273 = - 23^{\circ}C$

Ответ: $t^{\circ}C = - 23^{\circ}C$

Задача 3. Баллон вместимостью $V_1 = 0.02$ м³, содержащий воздух под давлением $P_1 = 4 \cdot 10^5$ Па, соединяют с баллоном вместимостью $V_2 = 0.06$ м³, из которого выкачан воздух. Определите давление P , которое установится в сосудах. Температура постоянна.

Решение

Воздух из первого баллона займет весь предоставленный ему объем $V_1 + V_2$. По закону Бойля – Мариотта $P_1 V_1 = P(V_1 + V_2)$. Отсюда искомое давление $P = P_1 V_1 / (V_1 + V_2) = 10^5$ Па.

Ответ: $P = 10^5$ Па.

Зачет по теме:

Основные положения

молекулярно – кинетической теории

Свойства газов, жидкостей и твердых тел.

Теоретические вопросы:

1. Основные положения МКТ. Масса и размеры молекул. Броуновское движение.
2. Силы взаимодействия молекул. Строение газов, жидкостей и твердых тел.
3. Идеальный газ в молекулярно – кинетической теории. Основное уравнение МКТ.

4. Температура – как мера средней кинетической энергии молекул. Абсолютная температура.
5. Уравнение состояния идеального газа. Газовые законы.
6. Насыщенный и ненасыщенный пар. Испарение. Кипение.
7. Абсолютная и относительная влажность воздуха.
8. Кристаллические и аморфные тела. Механические свойства твердых тел.

Практические вопросы.

Часть 1

A1. Сколько молекул содержится в одном моле водорода?

- 1) $6 \cdot 10^{23}$ 2) $12 \cdot 10^{23}$ 3) $6 \cdot 10^{26}$ 4) $12 \cdot 10^{26}$

A2. Какие силы действуют между нейтральными атомами?

- 1) только силы притяжения 2) только силы отталкивания
3) притяжения и отталкивания, силы отталкивания больше на малых расстояниях, чем силы притяжения
4) притяжения и отталкивания, силы отталкивания меньше на малых расстояниях, чем силы притяжения.

A3. Единицей измерения какой физической величины является один моль?

- 1) количества вещества 2) массы вещества
3) количества материи 4) объема вещества

A4. Кто впервые наблюдал хаотическое движение мелких твердых частиц, вызываемое беспорядочными ударами молекул жидкости?

- 1) О.Штерн 2) Р.Броун 3) Ж.Перрен 4) И.Ньютон

A5. Какое значение температуры по абсолютной шкале соответствует температуре 27°C по шкале Цельсия?

- 1) 327K 2) 300K 3) 273K 4) 246K

A6. Как называется процесс изменения состояния газа при постоянном объеме?

- 1) изотермический 2) изохорный
3) изобарный 4) адиабатный

A7. Если атомы расположены вплотную друг к другу, упорядоченно и образуют периодически повторяющуюся структуру, то в каком состоянии находится вещество?

- 1) в жидком 2) в аморфном 3) в твердом 4) в газообразном

A8. Что определяет произведение $3/2 \text{ кТ}$?

- 1) среднюю кинетическую энергию молекул идеального газа
2) давление идеального газа
3) абсолютную температуру идеального газа
4) внутреннюю энергию идеального газа

A9. Основное уравнение молекулярно – кинетической теории газов говорит о том, что

- 1) давление идеального газа зависит от концентрации молекул
2) давление идеального газа пропорционально средней кинетической энергии молекул

3) давление идеального газа зависит от концентрации молекул и пропорционально средней кинетической энергии молекул

4) давление идеального газа не зависит от концентрации молекул и пропорционально средней кинетической энергии молекул

A10. Какая из приведенных формул описывает состояние идеального газа?

1) $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$ 2) $PV = mRT/M$

1) только 1

2) только 2

3) обе формулы

4) ни одна из формул

A11. Почему высоко в горах не удается сварить яйцо в кипящей воде?

1) высоко в горах всегда холодно

2) высоко в горах давление воздуха ниже, чем на уровне моря

3) при понижении атмосферного давления понижается температура кипения

4) высоко в горах уменьшается сила земного тяготения, и это уменьшает конвекцию в яйце

A12. Какой вид деформации наблюдается в струне гитары во время игры на ней?

1) пластическая деформация

2) упругая деформация

3) гармоническая деформация

4) периодическая деформация

A13. Парциальное давление водяного пара в воздухе при 20 °С равно 0,466 кПа, давление насыщенных паров при той же температуре 2,33 кПа. Относительная влажность воздуха равна

1) 10 %

2) 20 %

3) 30 %

4) 40 %

Часть 2

V1. Как нужно изменить объем газа при постоянной температуре, чтобы его давление увеличилось в 4 раза?

V2. При постоянной температуре 27 °С и давлении 10⁵ Па объем газа 1 м³. При какой температуре этот газ будет занимать объем 2 м³ при том же давлении?

V3. В сосуде объемом 83 м³ находится 20 г водорода при температуре 127 °С. Определите давление газа.

V4. Для определения относительной влажности воздуха была в опыте найдена точка росы – 12 °С, и измерена температура воздуха – 29 °С.

По таблице в справочнике найдите значения давления насыщенного пара при 12°C и при 29°C . Какова относительная влажность воздуха?

Часть 3

С1. Какова плотность смеси, состоящей из 32 г кислорода и 22 углекислого газа при температуре 0°C и давлении 100 кПа?

С2. При давлении 250 кПа газ массой 8 кг занимает объем 15м^3 . Чему равна средняя квадратичная скорость движения молекул газа?

С3. Имеется два баллона одинакового объема. В одном из них находится 1 кг газообразного молекулярного азота, а в другом 1 кг молекулярного водорода. Температуры газов одинаковы. Давление азота 100 кПа. Каково давление водорода?