

Основы молекулярно-кинетической теории (МКТ)

Основные положения

1. Все вещества состоят из частиц (молекул, атомов), разделенных промежутками.

Доказательства:

- фотографии атомов и молекул, сделанные с помощью электронного микроскопа;
- возможность механического дробления вещества, растворение вещества в воде, диффузия, сжатие и расширение газов.

2. Частицы всех веществ беспорядочно и хаотично движутся.

Доказательства:

- диффузия – явление взаимного проникновения частиц одного вещества между частицами другого вещества вследствие их теплового движения.
- броуновское движение мелких, инородных, взвешенных в жидкости частиц под действием не скомпенсированных ударов молекул.

3. Частицы всех веществ взаимодействуют между собой: одновременно действуют силы взаимного притяжения и отталкивания (природа сил носит электромагнитный характер).

Доказательства:

- сохранение формы твердыми телам, для их разрыва необходимо усилие;
- жидкие и твердые тела трудно сжимаемы;
- капли жидкости, помещенные в непосредственной близости друг от друга, сливаются;
- явления смачивания и несмачивания.

График зависимости силы взаимодействия двух молекул от расстояния между ними.

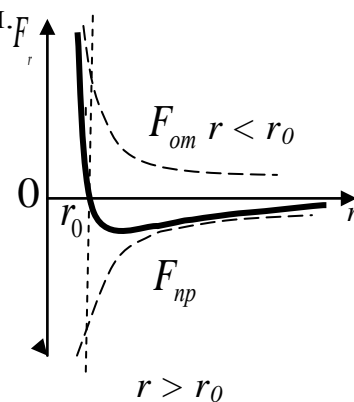
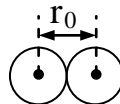
F_r - сила взаимодействия молекул, r – расстояние между их центрами.

F_{om} - сила отталкивания, положительная.

F_{np} - сила притяжения, отрицательная.

На расстоянии $r = r_0$ результирующая сила $F_r = 0$,

т.е. силы притяжения и отталкивания уравновешивают друг друга. Поэтому расстояние r_0 соответствует равновесному расстоянию между молекулами.



Основные понятия.

Атом – мельчайшая частица химического элемента, являющаяся носителем его химических свойств.

Молекула – наименьшая частица химического соединения, обладающая его основными химическими свойствами и состоящая из двух или нескольких атомов.

Ион – атом или молекула, которые потеряли или присоединили один или несколько электронов.

m_0 – масса молекулы, $m_0 \sim 10^{-26} - 10^{-27}$ кг.

d_0 – диаметр молекулы, $d_0 \sim 10^{-10}$ м.

v_0 – скорость молекулы, $v_0 \sim 200 - 2000$ м/с.

Связи физических величин

Величина	Единица	Формула
Моль – количество вещества, содержащее одно и то же число частиц, названное постоянной Авогадро		$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Молярная масса – масса вещества, взятого в количестве 1 моль M_r – относительная атомная масса	$\frac{\text{кг}}{\text{моль}}$	$M = M_r \cdot 10^{-3}$, $M = m_0 N_A$
Количество вещества	моль	$\nu = \frac{N}{N_A}$, $\nu = \frac{m}{M}$
N-число молекул (атомов)		$N = \nu \cdot N_A$, $N = \frac{m}{M} N_A$
m-масса вещества	кг	$m = M \nu$, $m = m_0 N_A \nu$
Масса молекулы (атома)	кг	$m_0 = \frac{m}{N}$, $m_0 = \frac{m}{\nu N_A}$, $m_0 = \frac{M}{N_A}$
Концентрация частиц – число частиц в единичном объеме	м^{-3}	$n = \frac{N}{V}$
Плотность вещества – масса приходящаяся на единицу объема, V_0 – объем молекулы (атома)	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho = \frac{m}{V}$, $\rho = \frac{m_0 N}{V}$, $\rho = m_0 n$
Температура по шкале Кельвина	К	$T = t^0 + 273$
Средняя кинетическая энергия поступательного движения частицы	Дж	$\overline{E_k} = \frac{m_0 \overline{v^2}}{2}$, $\overline{E_k} = \frac{3}{2} kT$
Среднее значение квадрата скорости движения частиц	$\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}$	$\overline{v^2} = \frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2}{N}$
Средняя квадратичная скорость	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$	$\overline{v} = \sqrt{\overline{v^2}}$, $\overline{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$, $\overline{v} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$
Давление идеального газа (<i>основное уравнение МКТ идеального газа</i>)	Па	$p = \frac{1}{3} m_0 n \overline{v^2}$, $p = \frac{1}{3} \rho \overline{v^2}$, $p = \frac{2}{3} n \overline{E_k}$, $p = nkT$

Замечание:

-молярная масса воздуха $M = 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$;

-для двухатомных газов (O_2 , H_2 , N_2 , Cl_2) молярная масса $M = M_r \cdot 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$.

Постоянная Больцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$;

Универсальная газовая постоянная $R = N_A k$, $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{мольК}}$.

Агрегатные состояния вещества.

	Газы	Жидкости	Твердые тела
Свойства.	Занимают весь предоставленный объем. Не сохраняют форму. Легко сжимаются.	Сохраняют объем. Обладают свойством текучести. Принимают форму сосуда.	Сохраняют форму и объем.
Расположение молекул.	Нет порядка в расположении молекул. Расстояние между молекулами гораздо больше размеров молекул.	Упорядоченное расположение ближайших соседних молекул (ближний порядок). Расстояние между молекулами сравнимо с их размерами.	В кристаллических твердых телах молекулы располагаются в определенном порядке (дальний порядок). Расстояние между молекулами порядка размеров молекул.
Силы взаимодействия.	$F_{\text{прит}} = 0$ и $F_{\text{отталт}} = 0$	$F_{\text{пр}} < F_{\text{от}}$ внутри жидкости $F_{\text{пр}} > F_{\text{от}}$ поверх. слой	$F_{\text{пр}} \approx F_{\text{от}}$
Движение молекул.	Молекулы свободно движутся во всех направлениях, столкновения относительно редки.	Молекулы колеблются вблизи положений равновесия, время от времени переходя в соседнее положение равновесия.	Молекулы колеблются вблизи положений равновесия, что обуславливает сохранение формы.
Энергия молекул.	Кинетическая энергия теплового движения молекул много больше потенциальной энергии их взаимодействия. $W_p \ll W_k$	Кинетическая энергия теплового движения молекул сравнима с потенциальной энергией их взаимодействия. $W_p \approx W_k$	Потенциальная энергия взаимодействия молекул много больше кинетической энергии их теплового движения. $W_p \gg W_k$

Твердые тела

Кристаллические	Аморфные
Атомы (молекулы) расположены в строго определенном порядке, не меняющемся во всем объеме кристалла (соль, лед, кварц, медь).	Отсутствует дальний порядок в расположении молекул (стекло, смолы).
Проявляют упругость при механических воздействиях, как кратковременных, так и длительных. $T_{\text{пл}} = \text{const}$	При кратковременных механических воздействиях проявляют упругие свойства, при длительных воздействиях текучи (проявляют свойства жидкостей).
Обладают определенной температурой плавления $T_{\text{пл}}$. При $T < T_{\text{пл}}$ тело остается твердым, при $T > T_{\text{пл}}$ становится жидким.	Нет определенной температуры плавления. Переход из твердого состояния в жидкое происходит постепенно – вещество размягчается, растет текучесть.

Монокристаллы	Поликристаллы	Изотропны.
Состоят из одиночных кристаллов (алмаз, турмалин). Анизотропны.	Состоят из множества одиночных кристаллов (металлы, сахар-рафинад) Изотропны.	

Анизотропия – зависимость физических свойств вещества (механических, тепловых, электрических, магнитных, оптических) от направления в кристалле.

Изотропия – независимость физических свойств вещества от направления в кристалле.

Экспериментальное определение скоростей молекул.

Опыт Штерна (1920г) – измерена скорость движения молекул серебра. В середине двух цилиндров находится платиновая проволока, покрытая серебром, по которой протекает электрический ток. Атомы серебра, испаряясь, оседают в виде полосок на внутренней поверхности второго цилиндра:

- без вращения внешнего цилиндра в области точки M_0 ;
- при вращении в области точки M , образуя более широкую полосу.

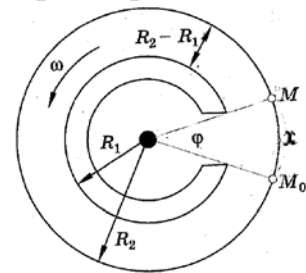


Рис. 153

Тогда $v_M = \frac{R_2 - R_1}{\Delta t}$, но $\omega R_2 \Delta t = x$, поэтому $v_M = \frac{\omega R_2 (R_2 - R_1)}{x}$

Выводы: наблюдаемое в опыте размытие полосок, говорит о различных скоростях атомов серебра при данной температуре. Атомы, движущиеся медленно, смещаются больше, чем атомы, движущиеся быстро. Толщина слоя серебра зависит от места конденсации атомов, а значит число атомов в этом месте зависит от их скорости. Результаты опыта подтвердили теоретические выкладки.

Идеальный газ.

Идеальный газ – молекулярно-кинетическая модель газа, в которой пренебрегают размерами молекул газа и потенциальной энергией их взаимодействия.

Давление газа в МКТ обусловлено ударами молекул о стенки сосуда. Это давление зависит от числа ударившихся молекул и температуры газа.

Термодинамическая система (ТДС) – любое макроскопическое тело или система тел. ТДС при неизменных условиях самопроизвольно переходит в состояние теплового равновесия.

Термодинамическое равновесие – это состояние, при котором все макроскопические параметры (параметры, описывающие поведение большого числа молекул) сколь угодно долго остаются неизменными.

Температура характеризует состояние теплового равновесия макроскопической системы: во всех частях системы, существующих в состоянии теплового равновесия, температура имеет одно и то же значение. При описании физических законов используют шкалу Кельвина.

Абсолютная температура измеряется в кельвинах (К). Она является мерой средней кинетической энергии движения молекул.

$$1^{\circ}\text{C} = 1\text{ K} \quad \Delta t = \Delta T$$

Абсолютный ноль температуры ($T = 0\text{ K}$) – значение температуры, соответствующее $273,15^{\circ}\text{C}$ ниже нуля температуры по шкале Цельсия. Абсолютный ноль недостижим, так как в этом случае скорость теплового движения молекул равна нулю, чего не может быть.

Нормальные условия: $t = 0^{\circ}\text{C}$, $T = 273\text{ K}$, $p_{\text{атм}} = 10^5\text{ Па} = 1\text{ атм}$.

Параметры газа p, V, T.

p – давление

$$p = \frac{1}{3} m_0 n \overline{v^2}$$

$$p = \frac{1}{3} \rho \overline{v^2}$$

$$p = \frac{2}{3} n \overline{E_k}$$

$$p = nkT$$

V – объем

-прямоугольный сосуд:

$$V = abc$$

-цилиндрический сосуд:

$$V = S_{осн} h$$

T – температура газа

$$\dot{Q} = t^0 \tilde{N} + 273$$

$$\overline{E_k} = \frac{m_0 \overline{v^2}}{2} \left. \vphantom{\overline{E_k}} \right\} \text{ для 1-ой}$$

$$\overline{E_k} = \frac{3}{2} kT \left. \vphantom{\overline{E_k}} \right\} \text{ молекулы}$$

$$\overline{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}, \quad \overline{v} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

Уравнение состояния идеального газа.

Уравнение Клапейрона

(для данного газа при $m = \text{const}$) связывает несколько состояний газа.

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

Для смеси газов:

$$\frac{p_{см} V_{см}}{T_{см}} = (v_1 + v_2) R$$

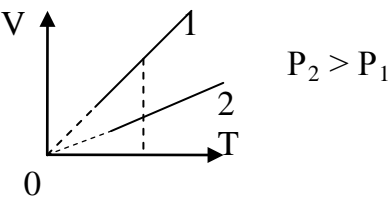
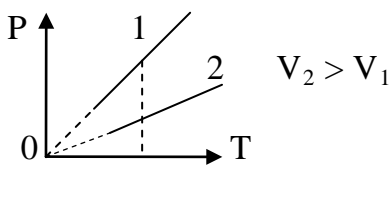
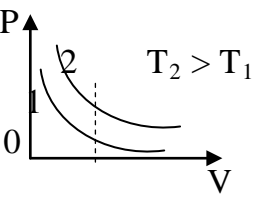
$p_{см} = p_1 + p_2 + \dots + p_n$ - закон Дальтона (давление смеси газов равно сумме парциальных давлений каждого газа в отдельности в объеме V).

Уравнение Менделеева-Клапейрона

описывает одно состояние

$$\frac{pV}{T} = \frac{m}{M} R$$

Газовые законы.

<p>Изобарный процесс. Закон Гей-Люссака: для газа <u>постоянной массы</u> отношение объема к температуре постоянно, если давление газа не меняется.</p> $p = \text{const}, \quad \frac{V}{T} = \text{const}$ 	<p>Изохорный процесс. Закон Шарля: для газа <u>постоянной массы</u> отношение давления к температуре постоянно, если объем не изменяется.</p> $V = \text{const}, \quad \frac{p}{T} = \text{const}$ 	<p>Изотермический процесс. Закон Бойля-Мариотта: для газа <u>постоянной массы</u> произведение давления на объем остается постоянным, если температура газа не изменяется.</p> $T = \text{const}, \quad pV = \text{const}$ 
---	---	---

Взаимные превращения жидкостей.

Парообразование – процесс перехода вещества из жидкого или твердого состояния в газообразное.

Конденсация – процесс перехода вещества из газообразного состояния в жидкое.

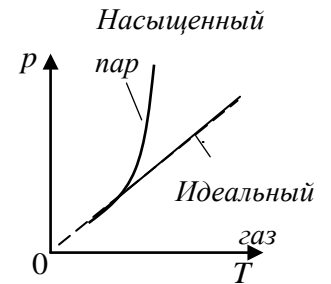
Способы парообразования.

Испарение.	Кипение.
<p>Это процесс, при котором со свободной поверхности жидкости или твердого тела вылетают молекулы, у которых кинетическая энергия максимальна. <i>Испарение сопровождается охлаждением жидкости</i>, т. к. вылетают самые быстрые молекулы. Испарение происходит при любой температуре.</p>	<p>Это процесс парообразования, происходящий как со свободной поверхности, так и по всему объему жидкости при помощи образующихся в ней пузырьков пара. <i>Кипение происходит в случае, если давление насыщенного пара внутри пузырька пара равно или больше внешнего давления.</i> Кипение происходит только при определённой для данного вещества температуре. Температура кипения зависит от внешнего давления.</p>

Динамическое равновесие – состояние, в котором может находиться пар (жидкость) при превращении в жидкость (пар); при этом число частиц, вылетающих с поверхности жидкости в единицу времени, равно числу частиц, возвращающихся в жидкость.

Насыщенный пар – пар, находящийся в состоянии динамического равновесия со своей жидкостью (существует только в закрытом сосуде). Концентрация молекул и давление насыщенного пара не зависят от его объема при постоянной температуре.

С повышением температуры будут увеличиваться концентрация молекул и давление насыщенного пара (см. рис.).



Ненасыщенный пар – пар, плотность и давление которого меньше плотности и давления насыщенного пара при данной температуре; пар, не находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью.

Точка росы – температура, при которой водяной пар, содержащийся в воздухе, становится насыщенным в результате охлаждения.

Парциальное давление водяного пара – давление, которое производил бы водяной пар, если бы все остальные газы в воздухе отсутствовали.

Влажность воздуха – характеризует содержание водяного пара в воздухе.

Абсолютная влажность воздуха – масса водяного пара в 1 м^3 воздуха при данной температуре (плотность).

Относительная влажность равна отношению парциального давления пара (или плотности) к давлению (или плотности) насыщенного пара при данной температуре.

Относительная влажность показывает насколько далёк пар от насыщения.

Связи физических величин

Величина	Единица	Формула
Абсолютная влажность (плотность водяного пара)	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho_{\text{пар}} = \frac{m}{V}$
Относительная влажность	%	$\varphi = \frac{\rho_{\text{пар}}}{\rho_{\text{нас}}} \cdot 100\%$, $\varphi = \frac{P_{\text{пар}}}{P_{\text{нас}}} \cdot 100\%$

Для определения влажности воздуха служат психрометр и гигрометр.