

2.1 Молекулярная физика

2.1.1 Модели строения газов, жидкостей и твердых тел

В природе каждое вещество может находиться в трех состояниях: в твердом, жидком и газообразном. Эти состояния называют агрегатными состояниями. В различных агрегатных состояниях вещества обладают разными свойствами. А физические свойства вещества зависят от того, каким образом упорядочены его молекулы, и как они взаимодействуют между собой.

Например, вода может находиться в твердом (лед), в жидком (вода) и газообразном (водяной пар) состояниях.

Большинство газов бесцветны и прозрачны, поэтому они невидимы. **Газы легко изменяют свой объем. Они полностью заполняют сосуд, в котором находятся, принимая его форму и объем.**

В газах расстояние между молекулами намного больше размеров самих молекул. Молекулы газа, беспорядочно двигаясь во всех направлениях, почти не притягиваются друг к другу. Поэтому газы не имеют собственной формы и постоянного объема. Они принимают форму сосуда и полностью заполняют предоставленный им объем.

Молекулы жидкости находятся друг от друга на малом расстоянии (меньше, чем диаметр молекулы). Между молекулами существуют силы притяжения, и поэтому жидкость имеет свой объем. Но под действие внешних сил, например, силы тяжести, можно легко заставить жидкость перемещаться. В отличие от газа **жидкость при заданной температуре занимает фиксированный объем.**

Естественная форма всякой жидкости — шар. Обычно сила тяжести мешает жидкости принимать эту форму, и жидкость либо растекается тонким слоем, если разлита без сосуда (маленькие капли воды, например, капли росы на траве, имеющие незначительный вес, все же принимают почти сферическую форму), либо же принимает форму сосуда, если налита в него.

Основное свойство жидкости — текучесть. Молекулы жидкости расположены на очень близком расстоянии друг от друга, поэтому силы притяжения между ними значительно больше, чем между молекулами газа. Движение молекул представляет собой сочетание колебаний около положения равновесия и происходящих время от времени перескоков. Текучесть жидкости — это результат перескакивания молекул в направлении действия внешней силы.

Твердое состояние веществ можно считать противоположностью газообразному. **Твердое тело сохраняет как свою форму, так и объем.** Чтобы изменить форму твердого тела, нужно приложить усилие. В обычных условиях также трудно сжать или растянуть твердое тело.

Твердые вещества состоят из кристаллических решеток, в которых упорядоченно расположены молекулы, **расстояние между молекулами сравнимо с размерами молекул.**

Так как сила взаимодействия между молекулами очень большая, то молекулы ограничены в собственном движении, и их положение очень трудно изменить. Тепловое движение сказывается только в том, что молекулы непрерывно колеблются около положений равновесия.

Твердые тела сохраняют постоянную форму и объем.

Однако, имеется и четвертое состояние, которые физики склонны относить к числу агрегатных. При особых условиях вещество может находиться в плазменном состоянии. Плазма — наиболее распространенное состояние вещества в природе. Солнце, большинство звезд, туманности — это плазма. Внешняя часть земной атмосферы (ионосфера) тоже представляет собой плазму. Полярные сияния, молнии, в том числе и шаровые, — все это различные виды плазмы. В технике плазма применяется, например, в люминесцентных лампах.

2.1.2 Тепловое движение атомов и молекул вещества

Тепловое движение — процесс хаотичного (беспорядочного) движения частиц, образующих вещество. Чем выше температура, тем больше скорость движения частиц. Чаще всего рассматривается тепловое движение атомов и молекул.

Хаотичность — важнейшая черта теплового движения. Важнейшими доказательствами существования движения молекул является Броуновское движение и диффузия.

Неверно смешивать понятия «Тепловое движение» и «Броуновское движение». Броуновским называется движение видимых взвешенных в веществе частиц; тепловым — движение частиц самого вещества. Тепловое движение является причиной броуновского движения.

2.1.3 Взаимодействие частиц вещества

Между молекулами существует взаимное притяжение. Каждая молекула притягивает к себе все соседние молекулы, и сама притягивается ими.

Притяжение между молекулами становится заметным только тогда, когда они находятся очень близко друг к другу. На расстоянии, большем, чем размеры самих молекул, притяжение ослабевает.

Если бы молекулы только притягивались друг к другу, то они должны слипаться, не оставляя никаких промежутков. Этого не происходит, потому что между молекулами (атомами) в то же время существует отталкивание.

На расстояниях, сравнимых с размерами самих молекул (атомов), заметнее проявляется притяжение, а при дальнейшем сближении — отталкивание.

2.1.4 Диффузия. Броуновское движение

В 1827 году Броун, занимаясь изучением поведения цветочной пыльцы в жидкости под микроскопом (он изучал водную взвесь пыльцы растения *Clarkia pulchella*), неожиданно обнаружил очень необычное явление. Отдельные споры хаотично двигались без видимых на то причин.

Подробно описав характер движения частиц, Броун вынужден был признать, что он не знает, как можно описать происхождение этого хаотичного движения. Впоследствии это явление назвали броуновским движением.

Эйнштейн объяснил явление броуновского движения примерно так: взвешенная в воде спора подвергается постоянной «бомбардировке» со стороны хаотично движущихся молекул воды. Удары молекул о частицу с разных сторон и приводят к скачкообразным перемещениям, которые Броун наблюдал в микроскоп.

Броуновское движение является наилучшим экспериментальным подтверждением правоты атомной теории строения вещества.

Явление, при котором происходит взаимное проникновение молекул одного вещества между молекулами другого, называется диффузией.

Наиболее быстро диффузия происходит в газах. Медленнее — в жидкостях, а в твердых телах — совсем медленно.

Процесс диффузии ускоряется с повышением температуры. Это происходит потому, что с повышением температуры увеличивается скорость движения молекул.

2.1.5 Модель идеального газа в МКТ: частицы газа движутся хаотически и не взаимодействуют друг с другом

Основные положения молекулярно-кинетической теории

1. Все вещества состоят из мельчайших частиц (молекул).
2. Молекулы находятся в беспорядочном хаотическом движении.
3. Между молекулами существуют силы взаимодействия.
4. Молекулы разделены промежутками.

Опытные обоснования молекулярно-кинетической теории

Существование молекул

1. Закон кратности отношений: при образовании из двух элементов различных веществ массы одного из элементов в разных отношениях находятся в кратных отношениях $N_2O: N_2O_2: N_2O_3$ (1:2:3).
2. Наблюдение молекул с помощью ионного проектора, электронного микроскопа.
3. Явление диффузии.

Хаотическое движение молекул

1. Броуновское движение молекул.
2. Диффузия и осмос.
3. Стремление газа занять любой объем.

Силы взаимодействия

1. Деформация тела.
2. Сохранение формы твердого тела.
3. Поверхностное натяжение жидкости

Наличие промежутков

1. При смешивании различных жидкостей $V_{\text{смеси}} < \text{сумма } V_{\text{отдельных жидкостей}}$.
2. Диффузия.
3. Деформация.

Роль молекулярно-кинетической теории в природе, технике

1. Питание растений из почвы.
2. В организмах человека и животных всасывание питательных веществ происходит через стенки пищеварения.
3. Цементация.

Различают четыре агрегатных состояния вещества:

1. Твердое
2. Жидкое
3. Газообразное
4. Плазменное.

2.1.6 Связь между давлением и средней кинетической энергией поступательного теплового движения молекул идеального газа (основное уравнение МКТ)

$$p = \frac{1}{3} m_0 n \overline{V^2} = \frac{2}{3} n \cdot \overline{E_k} = \frac{2}{3} n \cdot \left(\frac{m_0 \overline{V^2}}{2} \right)$$

m_0 - масса молекулы

$n = \frac{N}{V}$ - концентрация

Молярная масса - это масса вещества, взятого в количестве одного моля.

$$M = m_0 \cdot N_A$$

Число структурных элементов (молекул или атомов) в 1 моле вещества называют **числом Авогадро**: $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль.

$$\nu = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M}$$

2.1.7 Абсолютная температура

Температура идеального газа — физическая величина, характеризующая среднюю кинетическую энергию хаотического поступательного движения его молекул.

Температура — статистическая величина, характеризующая достаточно большую совокупность частиц.

Единица термодинамической температуры — кельвин (К); $1 \text{ К} = 1 \text{ }^{\circ}\text{С}$.

Абсолютный нуль термодинамической температуры по шкале Кельвина соответствует $-273,15 \text{ }^{\circ}\text{С}$.

Связь между температурными шкалами Цельсия и Кельвина определяется соотношением:

$$T = t \text{ }^{\circ}\text{С} + 273.$$

2.1.8 Связь температуры газа со средней кинетической энергией поступательного теплового движения его частиц

$$\overline{E_k} = \frac{3}{2} kT$$

Средняя кинетическая энергия хаотического поступательного движения молекул идеального газа пропорциональна термодинамической (или абсолютной) температуре:

$$\frac{m_0 \overline{V^2}}{2} = \frac{3}{2} kT$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ — постоянная Больцмана. (Множитель был введён для удобства, благодаря чему исчезают множители в других формулах.)

Постоянная Больцмана является коэффициентом, переводящим температуру из градусной меры (К) в энергетическую (Дж) и обратно.

Кинетическая энергия не может быть отрицательной. Следовательно, не может быть отрицательной и термодинамическая температура. Она обращается в нуль, когда средняя кинетическая энергия молекул становится равной нулю, являясь абсолютным нижним пределом термодинамической температуры.

Абсолютный нуль температуры (0 К) — температура, при которой должно прекратиться движение молекул.

2.1.9 Уравнение

$$p = nkT$$

Из формул $p = \frac{2}{3} n \overline{E_k}$ и $\overline{E_k} = \frac{3}{2} kT$

следует: $p = nkT$ — еще одна форма основного уравнения МКТ идеального газа

При одинаковых давлениях и температурах концентрация молекул у всех газов одна и та же.

Закон Авогадро (химия): в равных объемах газов при одинаковых температурах и давлениях содержится одинаковое число молекул.

В частности, при нормальных условиях, т. е. при $0 \text{ }^{\circ}\text{С}$ (273К) и 101,3 кПа, объём 1 моля газа равен 22,4 л. Этот объём называют молярным объёмом газа V_m .

2.1.10 Модель идеального газа в термодинамике

Уравнение Клайперона:

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

Для данной массы газа произведение давления газа на его объем, деленное на абсолютную температуру газа есть величина постоянная.

Это уравнение связывает давление, объем и температуру, которые определяют состояние идеального газа, и называется уравнением состояния идеального газа.

Уравнение Менделеева-Клапейрона:

$$PV = \frac{m}{M}RT \text{ или } PV = \nu RT \text{ или } p = \frac{\rho RT}{M}$$

$$R = k \cdot N_A$$

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} - \text{универсальная газовая постоянная.}$$

Физический смысл универсальной газовой постоянной в том, что R показывает работу которую выполняет 1 моль идеального газа при расширении за счет нагревания на 1 К (при $p = \text{const}$).

Суммарную кинетическую энергию хаотического движения всех молекул тела относительно его центра масс и суммарную потенциальную энергию взаимодействия этих молекул друг с другом называют внутренней энергией.

$$U = \frac{3m}{2M}RT = \frac{3}{2}pV - \text{внутренняя энергия одноатомного газа}$$

$$U = \frac{5m}{2M}RT = \frac{5}{2}pV - \text{внутренняя энергия двухатомного газа}$$

Изменение внутренней энергии определяется для идеального газа так:

$$\Delta U = \frac{3m}{2M}R\Delta T - \text{для постоянной массы газа}$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \frac{\Delta m}{M}RT - \text{для постоянной температуры}$$

2.1.11 Закон Дальтона для давления смеси разреженных газов

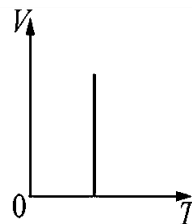
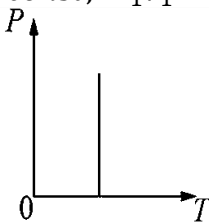
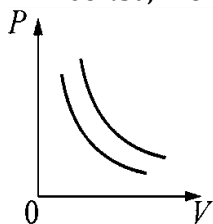
Давление смеси идеальных газов равно сумме парциальных давлений входящих в неё газов.

Так, атмосферное давление воздуха складывается из парциальных давлений азота, кислорода и других газов.

$$p_{\text{воздуха}} = p_{\text{азота}} + p_{\text{кислорода}} + p_{\text{аргон}} + \dots$$

2.1.12 Изопроцессы в разреженном газе с постоянным числом частиц изотермический процесс закон Бойля-Мариотта.

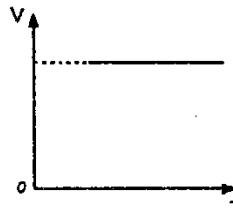
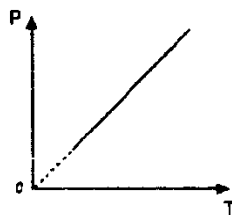
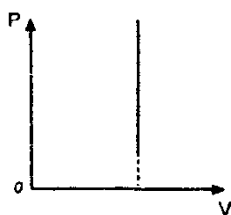
$$T = \text{const, т.е. } pV = \text{const, } P_1V_1 = P_2V_2.$$



ИЗОТЕРМА

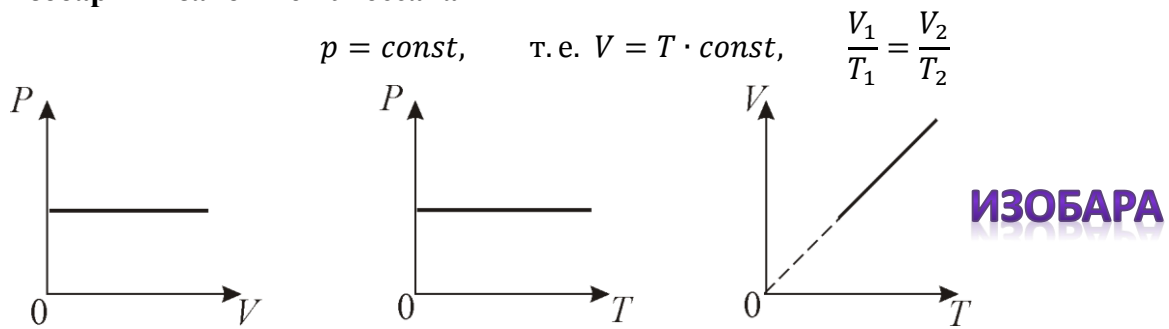
изохорный процесс Закон Ж. Шарля

$$V = \text{const, т.е. } p = T \cdot \text{const, } \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$



ИЗОХОРА

изобарный закон Гей-Люссака



2.1.13 Насыщенные и ненасыщенные пары. Качественная зависимость плотности и давления насыщенного пара от температуры, их независимость от объема насыщенного пара

Если испарение жидкости происходит в закрытом сосуде, то вначале число молекул, вылетевших из жидкости, будет больше числа молекул, возвратившихся обратно в жидкость. Плотность пара в сосуде будет постепенно увеличиваться. С увеличением плотности пара увеличится число молекул, возвращающихся в жидкость. Через некоторое время число молекул, вылетающих из жидкости, станет равно числу молекул, возвращающихся обратно. С этого момента число молекул пара над жидкостью будет постоянным и наступит динамическое равновесие между жидкостью и паром. При динамическом равновесии масса жидкости в закрытом сосуде не изменяется, хотя жидкость продолжает испаряться.

Пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью называется насыщенным паром.

Пар, не находящийся в равновесии со своей жидкостью, называется ненасыщенным.

Давление, которое производил бы водяной пар, если бы все остальные газы отсутствовали, называют парциальным давлением (или упругостью) водяного пара.

За характеристику влажности воздуха может быть принята плотность водяного пара содержащегося в воздухе. Эту величину называют абсолютной влажностью.

Абсолютная влажность и парциальное давление водяного пара связаны уравнением:

$$p = \frac{\rho}{M} RT$$

2.1.14 Влажность воздуха. Относительная влажность

Парциальное давление водяного пара или абсолютная влажность ничего не говорят о том, насколько водяной пар далек от насыщения.

Для этого вводят величину, показывающую, насколько водяной пар при данной температуре близок к насыщению, - относительную влажность:

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_{\text{нп}}} \cdot 100\%$$

p - парциальное давление при данной температуре;

$p_{\text{нп}}$ - давление насыщенного пара при той же температуре;

ρ - абсолютная влажность;

$\rho_{\text{нп}}$ - плотность насыщенного водяного пара при данной температуре.

2.1.15 Изменение агрегатных состояний вещества: испарение и конденсация, кипение жидкости

Явление превращения жидкости в пар называется парообразованием.

Парообразование, происходящее с поверхности жидкости, называется испарением.

Существуют два способа парообразования: испарение и кипение.

Молекулы жидкости находятся в непрерывном и беспорядочном движении, причем одни движутся быстрее, другие – медленнее. Если у поверхности жидкости окажется молекула с достаточно большой кинетической энергией, то она сможет преодолеть притяжение соседних молекул и вылететь из жидкости. Таким образом, жидкость покидают самые «энергетичные» молекулы, а в жидкости остаются молекулы, которые движутся с меньшими скоростями. Поэтому ***при испарении внутренняя энергия жидкости уменьшается.***

Молекулы, которые покинули жидкость и ушли в воздух, образуют пар.

Рассмотрим факторы, влияющие на скорость испарения:

- 1) Температура.
- 2) Площадь поверхности жидкости
- 3) Движение воздуха (ветер)
- 4) Род жидкости

Явление превращения пара в жидкость называется конденсацией.

Конденсация пара сопровождается выделением энергии.

Как правило, конденсация происходит на поверхности жидкого или твердого тела или требует наличия в газе центров конденсации. Их роль могут играть различные примеси или пылинки.

2.1.16 Изменение агрегатных состояний вещества: плавление и кристаллизация

Существует температура, выше которой вещество в твердом состоянии находиться не может, оно плавится. **Температура, при которой вещество плавится, называется температурой плавления вещества.**

В твердом состоянии молекулы расположены в строгом порядке и колеблются около своих положений равновесия. Когда вещество нагреется до температуры плавления, температура перестает увеличиваться, а вся получаемая энергия расходуется на разрушение кристаллической решетки. Внутренняя энергия теперь увеличивается не за счет кинетической энергии, а за счет увеличения потенциальной энергии взаимодействия молекул.

Переход вещества из жидкого состояния в твердое – отвердевание – происходит в обратном порядке.

Существует температура, ниже которой вещество в жидком состоянии находиться не может, оно отвердевает. **Температура, при которой вещество отвердевает, называется температурой отвердевания.**

2.1.17 Преобразование энергии в фазовых переходах

При испарении, плавлении - внутренняя энергия увеличивается.

При конденсации, кристаллизации - внутренняя энергия уменьшается.