

Задание:

- Изучить теорию;
- Написать краткий конспект;
- Разобрать примеры решения задач и по образцу решить подобные задачи.
- По вопросам обращаться 072-1098278 или hvastov@rambler.ru
- Фотоотчёт конспекта прислать в течении 3 дней со дня получения задания на hvastov@rambler.ru

Тема: Объяснение агрегатных состояний вещества на основе атомно-молекулярных представлений. Модель идеального газа. Связь между давлением и средней кинетической энергией молекул газа.

Цель: Объяснить агрегатные состояния вещества на основе атомно-молекулярных представлений, на примерах из жизни пояснить необходимость появления модели идеального газа. Познакомить с основными свойствами идеального газа. Дать понятие средней квадратичной скорости молекул газа.

Как известно, многие вещества в природе могут находиться в трех агрегатных состояниях: **твердом, жидком и газообразном.**

Учение о свойствах вещества в различных агрегатных состояниях основывается на представлениях об атомно-молекулярном строении материального мира. В основе молекулярно-кинетической теории строения вещества (МКТ) лежат три основных положения:

- все вещества состоят из мельчайших частиц (молекул, атомов, элементарных частиц), между которыми есть промежутки;
- частицы находятся в непрерывном тепловом движении;
- между частицами вещества существуют силы взаимодействия (притяжения и отталкивания); природа этих сил электромагнитная.

Значит, агрегатное состояние вещества зависит от взаимного расположения молекул, расстояния между ними, сил взаимодействия между ними и характера их движения.

Сильнее всего проявляется взаимодействие частиц вещества в твердом состоянии. Расстояние между молекулами примерно равно их собственным размерам. Это приводит к достаточно сильному взаимодействию, что практически лишает частицы возможности двигаться: они колеблются около некоторого положения равновесия. Они сохраняют форму и объем.

Свойства жидкостей также объясняются их строением. Частицы вещества в жидкостях взаимодействуют менее интенсивно, чем в твердых телах, и поэтому могут скачками менять свое местоположение – жидкости не сохраняют свою форму – они текучи. Жидкости сохраняют объем.

Газ представляет собой собрание молекул, беспорядочно движущихся по всем направлениям независимо друг от друга. Газы не имеют собственной формы, занимают весь предоставляемый им объем и легко сжимаются.

Существует еще одно состояние вещества – плазма. Плазма – частично или полностью ионизированный газ, в котором плотности положительных и отрицательных зарядов практически одинаковы. При достаточно сильном нагревании любое вещество испаряется, превращаясь в газ. Если увеличивать температуру и дальше, резко усилится процесс термической ионизации, т. е. молекулы газа начнут распадаться на составляющие их атомы, которые затем превращаются в ионы.

Модель идеального газа. Связь между давлением и средней кинетической энергией.

Для выяснения закономерностей, которым подчиняется поведение вещества в газообразном состоянии, рассматривается идеализированная модель реальных газов – идеальный газ. Это такой газ, молекулы которого рассматриваются как материальные точки, не взаимодействующие друг с другом на расстоянии, но взаимодействующие друг с другом и со стенками сосуда при столкновениях.

Идеальный газ – это газ, взаимодействие между молекулами которого пренебрежимо мало. ($E_k \gg E_p$)

Идеальный газ – это модель, придуманная учеными для познания газов, которые мы наблюдаем в природе реально. Она может описывать не любой газ. Не применима, когда газ сильно сжат, когда газ переходит в жидкое состояние. Реальные газы ведут себя как идеальный, когда среднее расстояние между молекулами во много раз больше их размеров, т.е. при достаточно больших разрежениях.

Свойства идеального газа:

1. расстояние между молекулами много больше размеров молекул;
2. молекулы газа очень малы и представляют собой упругие шары;
3. силы притяжения стремятся к нулю;
4. взаимодействия между молекулами газа происходят только при соударениях, а соударения считаются абсолютно упругими;
5. молекулы этого газа двигаются беспорядочно;
6. движение молекул по законам Ньютона.

Состояние некоторой массы газообразного вещества характеризуют зависимыми друг от друга физическими величинами, называемыми **параметрами состояния**. К ним относятся **объем V , давление p и температура T** .

Объем газа обозначается V . Объем газа всегда совпадает с объемом того сосуда, который он занимает. Единица объема в СИ м^3 .

Давление – физическая величина, равная отношению силы F , действующей на элемент поверхности перпендикулярно к ней, к площади S этого элемента.

$$p = F/S \quad \text{Единица давления в СИ паскаль [Па]}$$

До настоящего времени употребляются внесистемные единицы давления:

техническая атмосфера 1 ат = 9,81·10⁴ Па;

физическая атмосфера 1 атм = 1,013·10⁵ Па;

миллиметры ртутного столба 1 мм рт. ст. = 133 Па;

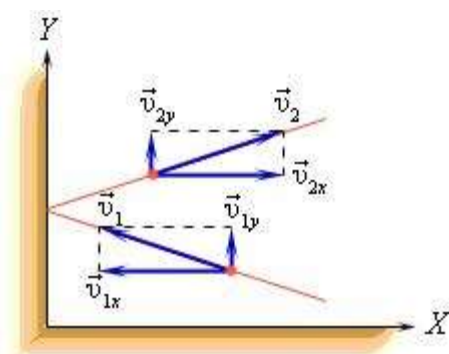
1 атм = = 760 мм рт. ст. = 1013 гПа.

Как возникает давление газа? Каждая молекула газа, ударяясь о стенку сосуда, в котором она находится, в течение малого промежутка времени действует на стенку с определенной силой. В результате беспорядочных ударов о стенку сила со стороны всех молекул на единицу площади стенки быстро меняется со временем относительно некоторой (средней) величины.

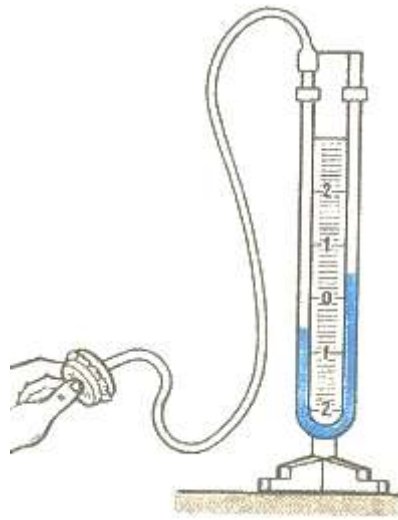
Давление газа возникает в результате беспорядочных ударов молекул о стенки сосуда, в котором находится газ.

Используя модель идеального газа, можно вычислить **давление газа на стенку сосуда**.

В процессе взаимодействия молекулы со стенкой сосуда между ними возникают силы, подчиняющиеся третьему закону Ньютона. В результате проекция v_x скорости молекулы, перпендикулярная стенке, изменяет свой знак на противоположный, а проекция v_y скорости, параллельная стенке, остается неизменной.

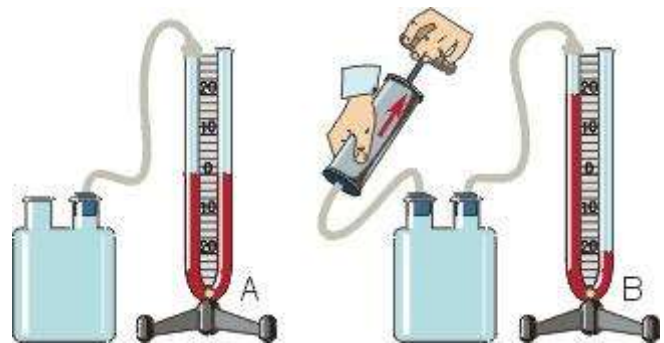


Приборы, измеряющие давление, называются **манометрами**. Манометры фиксируют среднюю по времени силу давления, приходящуюся на единицу площади его чувствительного элемента (мембраны) или другого приемника давления.



Жидкостные манометры:

1. открытый – для измерения небольших давлений выше атмосферного
2. закрытый - для измерения небольших давлений ниже атмосферного, т.е. небольшого вакуума

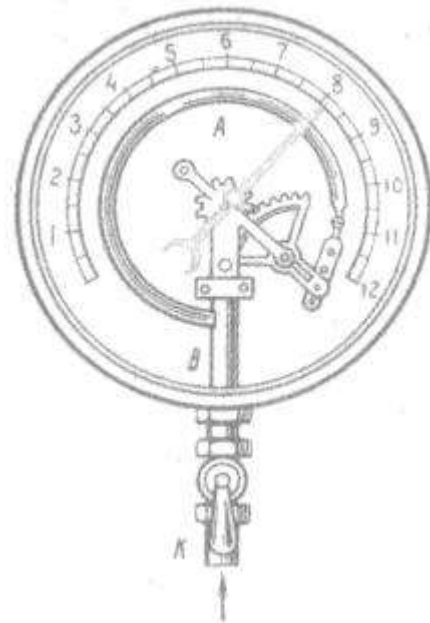


Металлический манометр – для измерения больших давлений.



Основной его частью является изогнутая трубка А, открытый конец которой припаян к трубке В, через которую поступает газ, а закрытый – соединен со стрелкой. Газ поступает через кран и трубку В в трубку А и

разгибает её. Свободный конец трубки, перемещаясь, приводит в движение передающий механизм и стрелку. Шкала градуирована в единицах давления.



Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа.

Основное уравнение МКТ: *давление идеального газа пропорционально произведению массы молекулы, концентрации молекул и среднему квадрату скорости движения молекул*

$$p = 1/3 \cdot m_0 \cdot n \cdot v^2$$

m_0 - масса одной молекулы газа;

$n = N/V$ – число молекул в единице объема, или концентрация молекул;

v^2 - средняя квадратичная скорость движения молекул.

Так как средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул $E = m_0 \cdot v^2/2$, то домножив основное уравнение МКТ на 2, получим $p = 2/3 \cdot n \cdot (m_0 \cdot v^2)/2 = 2/3 \cdot E \cdot n$

$$p = 2/3 \cdot E \cdot n$$

Давление газа равно 2/3 от средней кинетической энергии поступательного движения молекул, которые содержатся в единичном объеме газа.

Так как $m_0 \cdot n = m_0 \cdot N/V = m/V = \rho$, где ρ – плотность газа, то имеем $p = 1/3 \cdot \rho \cdot v^2$

Объединенный газовый закон.

Макроскопические величины, однозначно характеризующие состояние газа, называют термодинамическими параметрами газа.

Важнейшими термодинамическими параметрами газа являются его объем V , давление p и температура T .

Всякое изменение состояния газа называется **термодинамическим процессом**.

В любом термодинамическом процессе изменяются параметры газа, определяющие его состояние.

Соотношение между значениями тех или иных параметров в начале и конце процесса называется **газовым законом**.

Газовый закон, выражающий связь между всеми тремя параметрами газа называется **объединенным газовым законом**.

$$p = nkT$$

Соотношение $p = nkT$ связывающее давление газа с его температурой и концентрацией молекул, получено для модели идеального газа, молекулы которого взаимодействуют между собой и со стенками сосуда только во время упругих столкновений. Это соотношение может быть записано в другой форме, устанавливающей связь между макроскопическими параметрами газа – объемом V , давлением p , температурой T и количеством вещества ν . Для этого нужно использовать равенства

$$n = \frac{N}{V}$$

где n – концентрация молекул, N – общее число молекул, V – объем газа

Тогда получим $p = \frac{N}{V} kT$ или $p \frac{V}{T} = Nk$

Так как при постоянной массе газа N остается неизменным, то Nk – постоянное число, значит

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

При постоянной массе газа произведение объема на давление, деленное на абсолютную температуру газа, есть величина одинаковая для всех состояний этой массы газа.

Уравнение, устанавливающее связь между давлением, объемом и температурой газа было получено в середине XIX века французским физиком Б. Клайпероном и часто его называют **уравнением Клайперона**.

Уравнение Клайперона можно записать в другой форме.

$$p = nkT,$$

учитывая, что

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

Здесь N – число молекул в сосуде, ν – количество вещества, N_A – постоянная Авогадро, m – масса газа в сосуде, M – молярная масса газа. В итоге получим:

$$pV = \nu N_A kT = \frac{m}{M} N_A kT$$

Произведение постоянной Авогадро N_A на постоянную Больцмана k называется **универсальной (молярной) газовой постоянной** и обозначается буквой R .

Ее численное значение в СИ $R = 8,31$ Дж/моль·К

Соотношение

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

называется **уравнением состояния идеального газа**.

В полученной нами форме оно было впервые записано Д. И. Менделеевым. Поэтому уравнение состояния газа называется **уравнением Клапейрона–Менделеева**.

Для одного моля любого газа это соотношение принимает вид: **$pV=RT$**

Установим **физический смысл молярной газовой постоянной**.

Предположим, что в некотором цилиндре под поршнем при температуре T находится 1 моль газа, объем которого V . Если нагреть газ изобарно (при постоянном давлении) на 1 К, то поршень поднимется на высоту Δh , а объем газа увеличится на ΔV .

Запишем уравнение **$pV=RT$** для нагретого газа: $p(V + \Delta V) = R(T + 1)$

и вычтем из этого равенства уравнение $pV=RT$, соответствующее состоянию газа до нагревания. Получим $p\Delta V = R$

$\Delta V = S\Delta h$, где S – площадь основания цилиндра. Подставим в полученное уравнение:

$$pS\Delta h = R$$

$pS = F$ – сила давления.

Получим $F\Delta h = R$, а произведение силы на перемещение поршня $F\Delta h = A$ – работа по перемещению поршня, совершаемая этой силой против внешних сил при расширении газа.

Таким образом, **$R = A$** .

Универсальная (молярная) газовая постоянная численно равна работе, которую совершает 1 моль газа при изобарном нагревании его на 1 К.

Примеры решения задач

1. Определить массу водорода, находящегося в баллоне вместимостью 20 л при давлении 830 кПа, если температура газа равна 17 °С.

Дано: $V = 20$ л, $p = 830$ кПа, $t = 17$ °С, $M = 2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

Найти: m - ?

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

Решение $m = \frac{pVM}{RT}$. Выведем размерность искомой физической величины:

$$[m] = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^3 \cdot \frac{\text{кг}}{\text{моль}} \cdot \text{К}}{\text{м}^2 \cdot \text{моль} \cdot \text{Дж} \cdot \text{К}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{кг}}{\text{Н} \cdot \text{м}} = \text{кг};$$

$$m = \frac{83 \cdot 10^4 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{8,31 \cdot 290} = 1,38 \cdot 10^{-2} \text{ (кг)}.$$

Ответ: $m = 1,38 \cdot 10^{-2}$ кг.

2. Газ при давлении 0,2 МПа и температуре 15°С имеет объем 5 л. Чему будет равен объем этой массы газа при нормальных условиях?

3. В баллоне находится газ под давлением 40 Па и при температуре 27 °С. Когда из баллона выпустили 3/5 газа, содержавшегося в нем, его температура понизилась до -33 °С. Определить давление газа, оставшегося в сосуде.

Дано: $V = \text{const}$, $p_1 = 40$ МПа, $t_1 = 27$ °С, $t_2 = -33$ °С, $m_2 = 2/5 m_1$

Найти: p_2 - ?

$$p_1 V = \frac{m_1}{M} \cdot RT_1; \quad p_2 V = \frac{m_2}{M} \cdot RT_2; \quad \frac{p_1}{p_2} = \frac{m_1 T_1}{m_2 T_2};$$

$$p_2 = \frac{p_1 \cdot m_2 \cdot T_2}{m_1 T_1} = p_1 \frac{2m_1 T_2}{5m_1 T_1} = \frac{2p_1 T_2}{5T_1};$$

Решение $p_2 = \frac{2 \cdot 4 \cdot 10^7 \cdot 240 \text{ Па}}{5 \cdot 300} = \frac{2 \cdot 4 \cdot 24}{5 \cdot 3} \cdot 10^6 \text{ Па} = 12,8 \cdot 10^6 \text{ Па} = 12,8 \text{ Па}.$

Ответ: $p_2 = 12,8$ Па.

4. При уменьшении объема газа в 2 раза давление увеличилось на 120 кПа, а абсолютная температура возросла на 10%. Каким было первоначальное давление?

5) Физкультминутка

6) Первоначальная проверка понимания

Задачи решаются самостоятельно учениками

1. Определите температуру кислорода массой 64 г, находящегося в сосуде объемом 1 л при давлении $5 \cdot 10^6$ Па. Молярная масса кислорода $M = 0,032$ кг/моль.

Дано:

$$T_1 = 15 \text{ °C} = 2,88 \cdot 10^2 \text{ К}$$

$$\Delta m = 0,4 m_1$$

$$\Delta T = 8 \text{ К}$$

Решение:

$$p_1 V = \frac{m_1}{M} RT_1.$$

$$p_2 V = \frac{m_2}{M} RT_2;$$

$$\Delta m = m_1 - m_2.$$

$$m_2 = m_1 - \Delta m.$$

$$\Delta T = T_1 - T_2.$$

$$T_2 = T_1 - \Delta T.$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{m_1}{m_2} \cdot \frac{T_1}{T_2}.$$

$$p_2 V = \frac{m_1 - \Delta m}{M} R(T_1 - \Delta T).$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{m_1}{m_1 - \Delta m} \cdot \frac{T_1}{T_1 - \Delta T} = \frac{1}{1 - \frac{\Delta m}{m_1}} \cdot \frac{T_1}{T_1 - \Delta T} = \frac{1}{1 - 0,4} \cdot \frac{2,88 \cdot 10^2}{2,88 \cdot 10^2 - 8}.$$

$$\frac{p_1}{p_2} \approx 1,7.$$

Р е ш е н и е. Согласно уравнению Менделеева—Клапейрона $pV = \frac{m}{M} RT$.

Отсюда температура $T = \frac{pVM}{mR} = 300 \text{ К.}$ кислорода.

2. Найти плотность водорода при температуре 15°C и давлении $9,8 \cdot 10^4 \text{ Па}$. ($0,085 \text{ кг/м}^3$)

3. В баллоне находится газ при температуре 15°C . Во сколько раз уменьшится давление газа, если 40 % его выйдет из баллона, а температура при этом понизится на 8°C ?

m, кг	M, кг\моль	P, Па	V, м ³	T, К
?	$3,2 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^6$	0,83	300
2,4	$4 \cdot 10^{-2}$?	0,4	200
0,3	$2,8 \cdot 10^{-2}$	$8,3 \cdot 10^5$?	280
0,16	$4 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^4$	0,83	?

(Ответы: $m=16 \text{ кг}$; $P=249300 \text{ Па}$; $V=0,03 \text{ м}^3$; $T=150\text{К}$)

Задания для самостоятельного решения

1. Определить массу водорода, находящегося в баллоне вместимостью 20 л при давлении 830 кПа, если температура газа равна 17°C .

2. Газ при давлении 0,2 МПа и температуре 15°C имеет объем 5 л. Чему будет равен объем этой массы газа при нормальных условиях?

3. В баллоне находится газ под давлением 40 Па и при температуре 27°C . Когда из баллона выпустили $\frac{3}{5}$ газа, содержавшегося в нем, его температура понизилась до -33°C . Определить давление газа, оставшегося в сосуде.

4. При уменьшении объема газа в 2 раза давление увеличилось на 120 кПа, а абсолютная температура возросла на 10 %. Каким было первоначальное давление?

5. Определите температуру кислорода массой 64 г, находящегося в сосуде объемом 1 л при давлении $5 \cdot 10^6 \text{ Па}$. Молярная масса кислорода $M = 0,032 \text{ кг/моль}$.