

**10 КЛАСС****РАЗДЕЛ - 2****МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА**

Раздел физики, изучающий строение и свойства веществ на основе их молекулярного строения, называется молекулярной физикой.

В основу молекулярной физики положено то, что любое тело – твердое, жидкое или газообразное – состоит из громадного числа молекул, которые находятся в беспорядочном движении, интенсивность которого зависит от температуры.

Молекулярная физика служит основой современного материаловедения, вакуумной технологии, порошковой металлургии, холодильной техники.

**СОДЕРЖАНИЕ 2-го РАЗДЕЛА**

№ блока	Название блока	№ ОК	§§ учебника
<b>Блок 5.</b>	Основные положения МКТ	<b>36 – 45</b>	<b>§56-69</b>
<b>Блок 6.</b>	Взаимные превращения жидкостей и газов. Свойства твердых тел.	<b>46 – 50</b>	<b>§70-74</b>
<b>Блок 7.</b>	Основы термодинамики	<b>51 – 54</b>	<b>§75-82</b>

**РАЗДЕЛ - 2****БЛОК - 5****ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МКТ**

Содержание ОК	№ ОК	§ § учебника
<b>Тема 36</b>	<b>ОК-36</b>	<b>§56,57,58</b>
1.Что изучает молекулярная физика?		
2.Основные положения МКТ.		
3.Опытные обоснования основных положений МКТ.		
4.Диффузия.Броуновское движение.		
<b>Тема 37</b>	<b>ОК-37</b>	<b>§59,60</b>
1.Силы взаимодействия молекул.		
2.Строение веществ.		
<b>Тема 38</b>	<b>ОК-38</b>	<b>§57</b>
1.Основные понятия молекулярной физики.		
<b>Тема 39</b>	<b>ОК-39</b>	<b>§56</b>
1.Размеры и массы молекул		
<b>Тема 40</b>	<b>ОК-40</b>	<b>§61,62</b>
1.Идеальный газ в МКТ.		
2.Среднее значение квадрата модуля скорости		
<b>Тема 41</b>	<b>ОК-41</b>	<b>§63</b>
1.Основное уравнение МКТ.		
<b>Тема 42</b>	<b>ОК-42</b>	<b>§64,65,66</b>
1.Температура.		
2.Термометры.		
3.Абсолютная температура		
<b>Тема 43</b>	<b>ОК-43</b>	<b>§67</b>
1.Физический смысл температуры		
2.Скорость молекул газа.		
3.Опыт Штерна		
<b>Тема 44</b>	<b>ОК-44</b>	<b>§68</b>
1.Уравнение состояния идеального газа		
<b>Тема 45</b>	<b>ОК-45</b>	<b>§69</b>
1.Изопроцессы		
<b>Урок взаимоконтроля «Повторим теорию»</b>		<b>ВЗК-5</b>
<b>Тренировочные задания к БЛОКУ-5 «МКТ. Свойства газов. Изопроцессы»</b>		

**БЛОК -5****МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА****ОК - 36****1.История....***Левкипп и Демокрит – 400 до н.э.**Ломоносов – XVIII в. «О причине теплоты и холода»**Л.Больцман, Р.Клаузиус, Гей-Люссак, Авогадро и др.**А.Эйнштейн, Ж.Перрен, О.Штерн – XX в.***МКТ** – это учение о строении и свойствах вещества.**Молекулярная физика** – рассматривает эту теорию.

2.Основные положения МКТ	3.Опытные обоснования МКТ
1.Все вещества состоят из мельчайших частиц (молекул и атомов).	1.Механическое дробление. 2.Растворение веществ в растворителях. 3.Сжатие, растяжение 4.Диффузия. 5.Броуновское движение 6.Наблюдение и фотографирование крупных молекул.
2.Между частицами существуют силы взаимодействия.	1.Для разрыва тела требуется усилие. 2.Две капли сливаются в одну. 3.Твердые тела и жидкости трудно сжать.
3.Частицы непрерывно и хаотично движутся.	1.Броуновское движение. 2.Диффузия. 3.Давление газа на стенки сосуда. 4.Стремление газа занять весь объём.
4.Молекулы разделены промежутками.	1.Диффузия. 2.Деформация. 3.При смешивании различных жидкостей $V_{\text{смеси}} < \sum V_{\text{отд.жидкостей}}$

**4.Диффузия** – процесс взаимного проникновения разных веществ, обусловленный тепловым движением молекул.

Скорость диффузии зависит от рода веществ и температуры.

**5.Броуновское движение** – тепловое движение взвешенных в жидкости (или газе) частиц.

1827г. – Р.Броун – наблюдал

1905г. – А.Эйнштейн – создал теорию

1908 – 1913г. – Ж.Перрен – подтвердил экспериментально

**Причина** – удары молекул о частицу не компенсируют друг друга (частицы краски в воде, пылинки в луче света)

### Пояснения к ОК-36

## 1. Возникновение атомной теории строения вещества

Создателями учения об атомном строении вещества считаются древнегреческие философы Левкипп и Демокрит, жившие в V в. до н.э. Воззрения Демокрита, естественно далеки от современных представлений, но они сыграли важную роль в развитии физики.

Среди ряда крупных философов-физиков, занимающихся учением о молекулярном строении вещества, особую роль сыграли труды великого русского ученого М.В.Ломоносова. ("О причине теплоты и холода", «О коловратном движении корпускул»). Но в этих работах не было дано строгих доказательств существования атомов.

Основные представления, высказанные Ломоносовым, были в дальнейшем развиты Л.Больцманом, Р.Клазиусом, Д.Максвеллом, Л.Гей-Люссаком, А.Авогадро и др.

В начале XX в. над теорией молекулярного строения работали А.Эйнштейн, Ж. Перрен, О.Штерн.

В результате работ этих ученых была создана молекулярно - кинетическая теория (МКТ).

### МКТ-это учение о строении и свойствах вещества

Раздел физики, который рассматривает эту теорию, получил название - *молекулярная физика*.

*Цель молекулярной физики* - объяснить те свойства тел, которые непосредственно наблюдаются на опыте (давление, температура, упругость, теплопроводность и т.п.), как проявление суммарного действия большого числа молекул. При этом пользуются так называемым статистическим методом, который позволяет определить не поведение отдельных молекул, а такие средние величины, которые характеризуют движение и взаимодействие огромной совокупности молекул.

Поэтому молекулярную физику часто называют статистической физикой.

## 2. Основные положения МКТ

В основе теории лежат три важных положения, подтвержденные экспериментально и теоретически:

1. *Все вещества состоят из мельчайших атомов, молекул, в состав которых входят еще более мелкие элементарные частицы.*

**(молекула**-это наименьшая электрически нейтральная частица вещества, обладающая всеми его химическими свойствами и могущая существовать самостоятельно).

2. *Между частицами любого вещества существуют силы взаимодействия - притяжения и отталкивания.*

3. *Атомы и молекулы вещества всегда находятся в непрерывном хаотическом движении, которое называется тепловым движением.*

4. *Молекулы разделены промежутками.*

### 3. Опытные обоснования основных положений МКТ

#### Существование молекул

- механическое дробление,
- растворение веществ в растворителях;
- сжатие, растяжение;
- диффузия;
- броуновское движение;
- наблюдение и фотографирование наиболее крупных молекул с помощью электронного микроскопа.

#### Силы взаимодействия

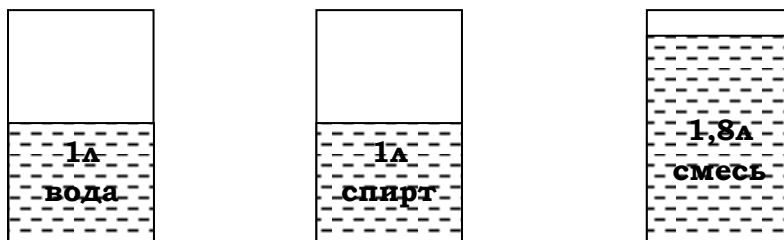
- для разрыва тела требуется усилие;
- наличие сил притяжения в жидкостях можно подтвердить тем, что две капли жидкости - могут сливаться в одну;
- существование сил отталкивания между молекулами подтверждается тем, что твердые тела и жидкости невозможно сжать.

#### Хаотическое движение

- броуновское движение;
- диффузия;
- давление газа на стенки сосуда;
- стремление газа занять любой объем.

#### Наличие промежутков

- диффузия;
- деформация.
- при смешивании различных жидкостей  $V_{\text{смеси}} < \sum V_{\text{отдельных жидкостей}}$ ,  
(например, при смешивании **1л.** воды и **1л.** спирта объем смеси получается **1,8 л** смеси.);



### 4. Диффузия

Диффузией называют процесс взаимного проникновения разных веществ, обусловленный тепловым движением.

Опытным путем было установлено, что скорость протекания процесса диффузии зависит от рода диффундируемых веществ и температуры.

Диффузия в жидкостях происходит медленнее, чем в газах, но быстрее, чем в твердых телах, потому что чем плотнее вещество, тем ближе друг к другу расположены в нем молекулы.

## 5. Броуновское движение

В 1827г. английский ботаник Р.Броун, изучая внутреннее строение растений с помощью микроскопа, обнаружил, что частички твердого вещества в жидкой среде; совершают непрерывное хаотическое движение. Аналогичное движение можно наблюдать в микроскоп, если рассматривать дым, капельки жира в воде или частички твердого тела, взвешенные в жидкости или газе.

*Броуновское движение - это тепловое движение взвешенных в жидкости или газе частиц.*

-при микроскопических размерах частички сумма импульсов может стать неравной нулю. Такая частичка начинает двигаться. Через некоторое время под действием новых соударений направление движения может измениться. Такая частичка движется по ломаной линии.

-если размеры такой частички велики, она испытывает со всех сторон большое число ударов, результирующий импульс может оказаться близким к нулю и частичка остается неподвижной.

Молекулярно-кинетическая теория броуновского движения была создана А.Эйнштейном в 1905-1906гг.

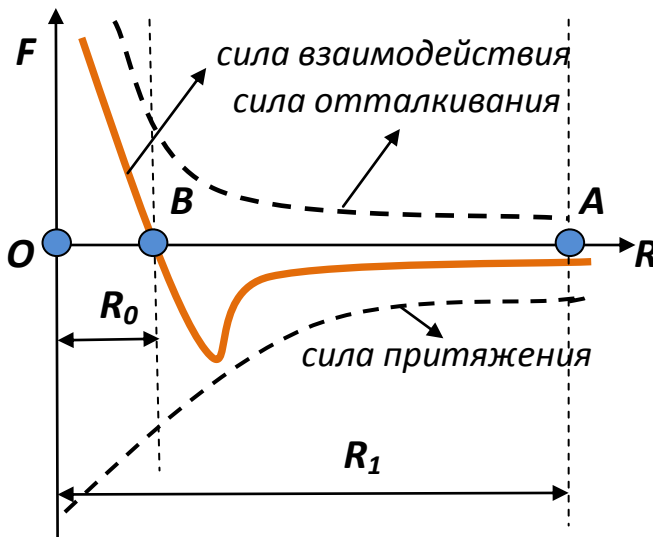
Экспериментальное подтверждение она получила в трудах французского физика Ж.Перрена в 1908-1913гг.

## БЛОК -5

## ОК - 37

## СИЛЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОЛЕКУЛ

- а. силы притяжения и отталкивания действуют одновременно.  
б. силы имеют электромагнитную природу.



т.О и т.А – две молекулы

$R_0$  – сумма радиусов

$R_1$  – расстояние между молекулами

$$R_1 > R_0 \longrightarrow F_{\text{ПРИТ.}} > F_{\text{ОТ.}}$$

$$R_1 = R_0 \longrightarrow F_{\text{ПРИТ.}} = F_{\text{ОТ.}}$$

$$R_1 < R_0 \longrightarrow F_{\text{ПРИТ.}} < F_{\text{ОТ.}}$$

$$F_{\text{от.}} \sim \frac{1}{10^{14}}; \quad F_{\text{прит.}} \sim \frac{1}{10^7}$$

## Строение веществ

<b>газообразные</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- расстояние между молекулами <math>\gg</math> размера молекул;</li> <li>- <math>F_{\text{взаимодействия}}</math> малы;</li> <li>- молекулы движутся от столкновения до столкновения;</li> <li>- неограниченно расширяются, легко сжимаются;</li> <li>- занимают весь предоставленный объем.</li> </ul>
<b>жидкие</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- расстояние между молекулами <math>&lt;</math> чем в газах;</li> <li>- <math>F_{\text{взаимодействия}}</math> между молекулами достаточно велики, поэтому молекулы жидкости совершают колебания около средних положений равновесия;</li> <li>- сохраняют свой объем, но легко меняют свою форму.</li> </ul>
<b>твердые</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- расстояние между молекулами меньше, чем жидкостях,</li> <li>- сила взаимодействия и энергия – велики,</li> <li>- потенциальная энергия больше кинетической,</li> <li>- частицы плотно упакованы и образуют кристаллическую решетку,</li> <li>- силы притяжения и отталкивания уравновешены.</li> </ul>

## Пояснения к ОК-37

**1. Силы взаимодействия молекул**

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

*Выясним природу этих сил.*

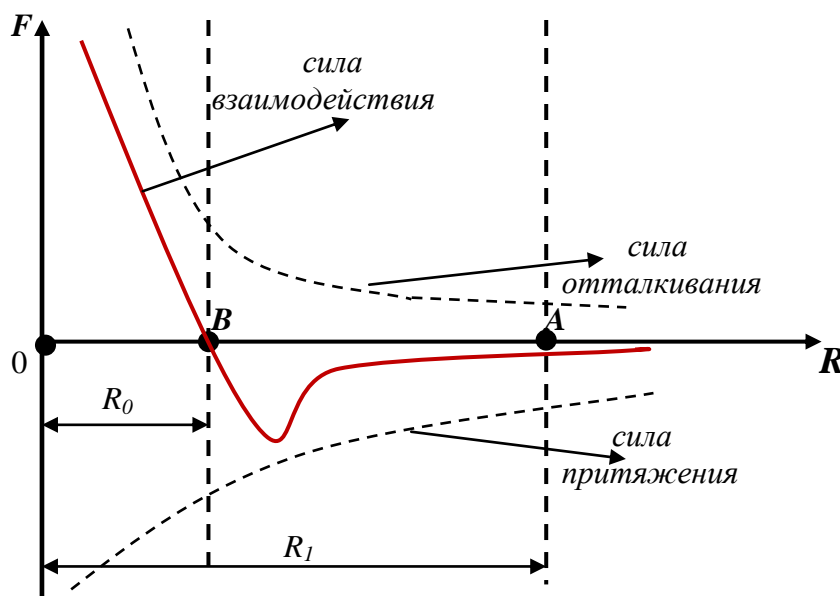
Атомы, входящие в состав молекул, представляют собой сложную систему, состоящую из заряженных частиц - электронов, имеющих отрицательный заряд, и ядер, заряд которых положителен.

Несмотря на то, что любая молекула и отдельные атомы электрически нейтральны, т. к. заряд ядра атома равен сумме зарядов электронов, между ними на любых расстояниях действуют значительные электрические силы. Вызвано это тем, что молекулу по её электрическим свойствам можно рассматривать как электрический диполь (электрическим диполем называется совокупность двух равных по величине и противоположных по знаку точечных зарядов, расположенных на расстоянии друг от друга).

Между соседними электрическими диполями (молекулами) происходит электрическое взаимодействие, поэтому молекулярные силы имеют электромагнитную природу.

Зависимость сил взаимодействия молекул  $F$  от расстояния между ними  $R$  представим графически, считая силы отталкивания положительными, а силы притяжения отрицательными. Пусть одна из молекул находится в начале координат, а другая на некотором расстоянии  $R_1$  от нее (в точке А). Между ними действует очень малая сила взаимного притяжения и еще меньшая сила отталкивания. По мере сближения молекул сначала быстрее возрастает сила притяжения, а затем сила отталкивания. На расстоянии  $R_0$ , равном примерно сумме радиусов молекул, сила притяжения оказывается равной силе отталкивания. Это расстояние  $OB=R_0$  соответствует положению устойчивого равновесия молекул. При дальнейшем сближении молекул сила отталкивания превосходит силу притяжения.

*На графике показана также зависимость равнодействующей силы взаимодействия двух частиц от расстояния между ними, равной алгебраической сумме сил отталкивания и притяжения.*





Кривая изменения силы взаимодействия молекул показывает, что при расстоянии между частицами  $R > R_0$  преобладают силы взаимного притяжения, а при  $R < R_0$  -силы отталкивания. Это легко объясняет возникновение сил упругости при деформации тел.

Установлено, что силы отталкивания обратно пропорциональны  $10^{14}$  степени расстояния между молекулами ( $F_{отт} \sim \frac{1}{10^{14}}$ ), а силы притяжения –  $10^7$  степени ( $F_{прит.} \sim \frac{1}{10^7}$ ),

Поэтому - на малых расстояниях силы отталкивания возрастают быстрее сил притяжения, а на расстояниях, больших размера молекул, силы отталкивания уменьшаются быстрее сил притяжения.

## **2.Строение и свойства газообразных, жидких и твердых тел**

### Газообразные

- расстояние между молекулами много больше размера молекул;
- силы отталкивания малы;
- молекулы движутся от столкновения до столкновения;
- неограниченно расширяются, легко сжимаются;
- занимают весь предоставленный им объем.

### Жидкие

- расстояние между молекулами меньше, чем в газах;
- силы взаимодействия между молекулами достаточно велики, поэтому молекулы жидкости совершают колебания около средних положений равновесия;
- сохраняют свой объем, но легко меняют свою форму.

### Твердые

- расстояние между молекулами меньше, чем в жидкостях;
- силы взаимодействия, энергия – велики;
- потенциальная энергия больше кинетической, поэтому молекулы совершают малые колебания около положения равновесия, т.е. узла кристаллической решетки;
- силы притяжения и отталкивания молекул уравновешены, если тело не деформировано.

## БЛОК -5

ОК - 38

## ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ

## 1. Относительная молекулярная масса вещества.

$$M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12m_{0C}}}$$

- из таблицы Менделеева

## 2. Количество вещества

$$\nu = \frac{N}{N_A} \text{ — МОЛЬ}$$

**Моль** – это количество вещества, содержащего столько же молекул (атомов), сколько их содержится в 0,012 кг углерода.

В 1 моле любого вещества содержится одно и тоже число частиц

$$N_A = 6,02 * 10^{23} \text{ — МОЛЬ}^{-1} \quad \text{- число Авогадро}$$

## 3. Молярная масса – это масса 1 моля вещества

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

$$\longrightarrow \nu = \frac{m}{M}; \quad M = m_0N_A$$

## 4. Определение молярной массы

$$M = M_r * 10^{-3} \text{ — } \frac{\text{КГ}}{\text{МОЛЬ}}$$

Примеры:

$$1. M_{\text{CO}_2} = (12 + 2*16) * 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$$2. M_{\text{CH}_4} = (12 + 4*1) * 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

## Пояснения к ОК-38

**Основные понятия молекулярной физики**

1. *Относительная атомная масса элемента и относительная молекулярная масса вещества.*

Так как массы молекул очень малы, удобно использовать не абсолютные значения масс, а относительные.

В разное время в качестве эталона выбирали разные атомы. В настоящее время приняты следующие определения относительных атомных и молекулярных масс.

Относительной атомной массой  $A_r$  химического элемента называется отношение массы атома  $m_0$  этого элемента к  $1/12$  массы атома изотопа углерода  $C$ . т.е.

$$A_r = \frac{m_0}{1/12m_{0c}}$$

**Некоторые пояснения:**

-изотопами называются разновидности химического элемента с одинаковым числом протонов и различным числом нейтронов в атомных ядрах;

-цифра 12 означает массовое число, т.е. число нуклонов (протонов и нейтронов), содержащихся в ядре данного изотопа;

-индекс " r "- это начальная буква английского слова "relative", что означает "относительный").

Относительной молекулярной массой  $M_r$  вещества называется отношение массы молекул  $m_0$  этого вещества к  $1/12$  массы атома изотопа углерода  $C$ , т.е.

$$M_r = \frac{m_0}{1/12m_{0c}}$$

В настоящее время относительные атомные массы всех химических элементов измерены.

Складывая относительные атомные массы элементов, входящих в состав молекулы вещества, можно вычислить относительную молекулярную массу.

Например:  $CO_2 \rightarrow 12 + 2*16 = 44$

2. *Количество вещества.*

В 1971г. на XIV Генеральной конференции по мерам и весам принято решение о введении седьмой в системе СИ основной физической величины - *количества вещества* (в соответствии с этим решением основными физическими величинами являются: длина, масса, время, сила тока, температура Кельвина, сила света и количество вещества).

Количество вещества можно было измерять числом молекул, но т.к. число молекул в любом теле велико, то для измерения количества вещества используют не абсолютное число молекул, а относительное.

Количество вещества это отношение числа частиц (молекул, атомов) в данном теле к числу атомов, содержащихся в 0,012 кг изотопа углерода.

$$\nu = \frac{N}{N_A} - \text{моль}$$

Количество вещества измеряется в молях.

**Моль**-это количество вещества, содержащегося столько же молекул (атомов), сколько содержится атомов в 0,012кг углерода.

В 1 моле любого вещества содержится одно и то же число атомов или молекул. Число атомов или молекул, содержащихся в одном моле вещества, называют **числом или постоянной Авогадро**.

$$N_A = \frac{m_c(1 \text{ моль})}{m_{oc}} = \frac{0,012 \text{ кг/моль}}{1,995 * 10^{-26} \text{ кг}} = 6,02 * 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

3.Молярная масса и её связь с относительной молекулярной массой.

Под молярной массой **M** подразумеваются масса вещества, взятого в количестве одного моля.

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

где **m**-масса вещества, а **ν** - число молей.

Отсюда вытекает, что количество вещества может быть выражено следующей формулой:

$$\nu = \frac{m}{M}; \quad M = m_0 N_A$$

Установим связь между **M** и **M<sub>r</sub>**

$$M_r = \frac{m_0}{1/12 m_{oc}}; \quad m_0 = M_r \frac{1}{12} m_{oc};$$

$$M = m_0 N_A; \quad N_A = \frac{0,012 \text{ кг/моль}}{m_{oc}};$$

$$M = M_r \frac{1}{12} m_{oc} \frac{0,012 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{m_{oc}};$$

$$(M = 10^{-3} M_r \frac{\text{кг}}{\text{моль}})$$

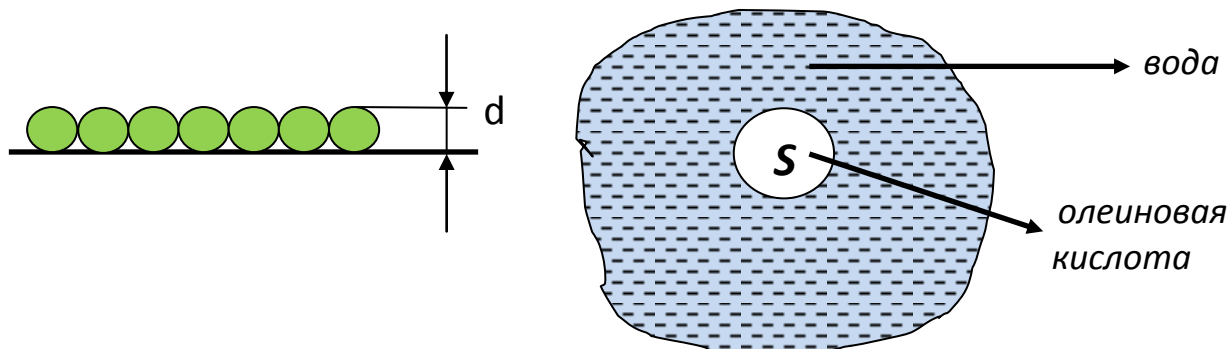
$$M_r \text{CO}_2 = 44; \quad M = 0,044 \text{ кг/моль}$$

## БЛОК -5

## РАЗМЕРЫ И МАССА МОЛЕКУЛ

ОК - 39

Приблизительная оценка размеров и массы молекул



1. Объем капли 0,5% раствора	$2\text{мм}^3$
2. Объем пятна	$V = 0,005 * 2 * 10^{-9} \text{ м}^3 = 10^{-11} \text{ м}^3$
3. Площадь пятна	$S = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 * (0,2\text{м})^2}{4} = 3,14 * 10^{-10} \text{ м}^2$
4. Толщина слоя или диаметр молекулы	$d = \frac{V}{S} = \frac{10^{-11} \text{ м}^3}{3,14 * 10^{-10} \text{ м}^2} = 3 * 10^{-10} \text{ м}$
5. Объем одной молекулы	$V_0 = d^3 = 2,7 * 10^{-29} \text{ м}^3$
6. Масса одной молекулы	$m_0 = \rho V_0 = 0,9 * 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} * 2,7 * 10^{-29} \text{ м}^3;$ $m_0 = 2,4 * 10^{-26} \text{ кг}$

Представить сложно!

Комната -  $1 \text{ см}^3 - 10^{20}$  молекул

«Черпаком» каждую секунду по 1 млн. молекул – несколько млн. лет

## Пояснения к ОК-39

**Размеры и масса молекул.**

Так как размеры атомов и молекул очень малы, то увидеть их невооруженным глазом нельзя. Даже лучшие оптические микроскопы не дают возможности видеть отдельные молекулы. Только с помощью электронного микроскопа, дающего увеличение в 30 000 раз и более сфотографированы отдельные крупные молекулы.

Данные рентгеноструктурного анализа показывают, что наибольший линейный размер двухатомной молекулы кислорода порядка  $4 \cdot 10^{-10}$  м, такой же размер имеют молекулы азота.

Приближенная оценка размеров и массы молекулы может быть выполнена с помощью достаточно простых опытов.

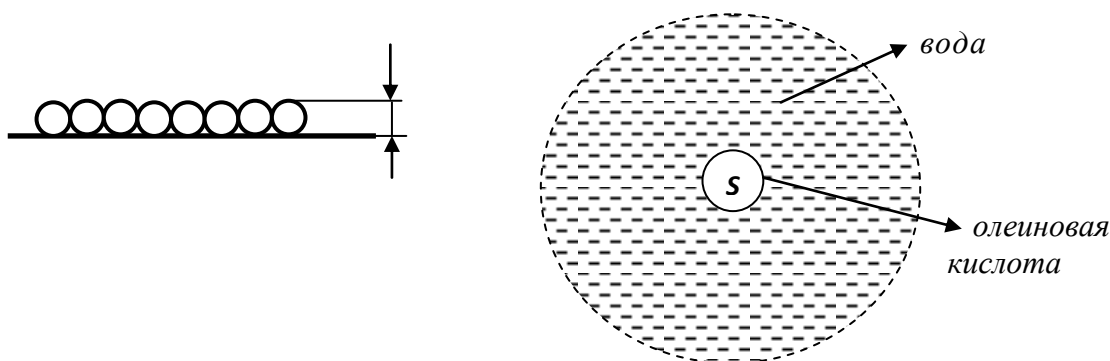
Самый простой способ приблизительной оценки основан на измерениях тонкой пленки жидкости. Опыт показывает, что если на поверхность воды капнуть небольшую каплю нерастворимого в воде вещества (масла, керосина или кислоты и др.), то эта капля растекается по поверхности воды не беспредельно.

Основная трудность этого способа заключается в том, что надо взять очень мало маслянистого вещества. В противном случае оно покроет всю поверхность воды в несколько слоев молекул.

Так, одна капля олеиновой кислоты, растекаясь, может покрыть всю поверхность воды в плавательном бассейне. Поэтому обычно берут слабый раствор масла в какой-либо летучей жидкости.

В большую кювету наливают воду. На поверхность воды пускают каплю 0,5%-ого раствора олеиновой кислоты в спирте. Капля быстро растекается, образовав на поверхности воды пятно, имеющее форму почти правильного круга. Размеры этого пятна сначала растут, а затем немного уменьшаются (спирт испаряется, и молекулы кислоты сближаются).

При объеме  $2 \text{ мм}^3$  на поверхности воды образуется круглое пятно диаметром около 20 см.



Объем определяется так:

$$V = 0,005 (0,5\%) * 2 * 10^{-9} \text{ м}^3 = 10^{-11} \text{ м}^3$$

Площадь кругового пятна равна:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14}{4} (0,2 \text{ м})^2 = 3,14 * 10^{-2} \text{ м}^2$$

Толщина слоя, а, следовательно, диаметра молекулы будет равна

$$d = \frac{V}{S} = \frac{10^{-11} \text{ м}^3}{3,14 * 10^{-2} \text{ м}^2} = 3 * 10^{-10} \text{ м}$$

Зная диаметр молекулы и плотность олеиновой кислоты ( $\rho = 9 * 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ )

$$V_0 = d^3 = 2,7 * 10^{-29} \text{ м}^3$$

$$m_0 = \rho * V_0 = 0,9 * 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} * 2,7 * 10^{-29} \text{ м}^3 = 2,4 * 10^{-26} \text{ кг}$$

Приведенные расчеты являются приблизительными и позволяют судить лишь о порядке величин.

-водород –  $3,34 * 10^{-27} \text{ кг}$

-кислород –  $5,52 * 10^{-26} \text{ кг}$

-углерод –  $7,3 * 10^{-26} \text{ кг}$

Чтобы как-то представить размеры молекул, назовем еще одну цифру: в  $1 \text{ см}^3$  воздуха при нормальном давлении и комнатной температуре находится примерно  $10^{20}$  молекул!

Чтобы представить эту цифру, скажем, что, если каждую секунду специальным "черпаком" вычерпывать по 1млн. молекул, нам понадобилось бы несколько млн. лет.

БЛОК -5

ОК - 40

**ИДЕАЛЬНЫЙ ГАЗ в МКТ****1. Модель идеального газа.**

1857г. Клаузиус (нем.)

1. Молекулы газа не имеют объема – упругие шары.
2. Расстояние между молекулами  $> d$ .
3. Отталкивание – только при ударах.
4. Силы притяжения  $\rightarrow 0$ .

*Идеальный газ – это газ, взаимодействие между молекулами которого пренебрежимо мало, т.е.  $E_k \gg E_p$*

**2. Среднее значение квадрата модуля скорости.**(движение молекул происходит в пространстве, число молекул равно  $-N$ )
$$\overline{V^2} = \frac{V_1^2 + V_2^2 + \dots + V_N^2}{N} - \text{среднее значение квадрата скорости;}$$
$$V^2 = V_x^2 + V_y^2 + V_z^2 - \text{квадрат модуля любого вектора на оси } OX, OY, OZ;$$
$$\overline{V^2} = \overline{V_x^2} + \overline{V_y^2} + \overline{V_z^2} - \text{среднее значение квадратов проекций скоростей;}$$
Оси  **$OX, OY, OZ$**  – равноправны;

$$\overline{V_x^2} = \overline{V_y^2} = \overline{V_z^2}$$

$$\overline{V_x^2} = \frac{1}{3} \overline{V^2}$$



*Пояснения к ОК-40***1. Модель идеального газа**

Молекулы представляют собой сложные объемные образования, между которыми действуют силы притяжения и отталкивания. Поэтому при изучении газообразного состояния вещества следует учитывать как размеры частиц газа, так и силы, действующие между ними.

Но так как у газов молекулы малы по сравнению с расстояниями между ними и очень малы силы взаимодействия, то для упрощения рассуждений и расчетов можно пренебречь объемом молекул и силами, действующими между ними, и считать, что их взаимодействие сводится только к соударениям и что соударения частиц друг с другом и со стенками сосуда происходят без потерь энергии.

Вводя такие упрощения мы заменяем изучение реальных газов изучением их приближенной модели - *так называемого идеального газа*.

***В природе идеального газа не существует.***

В 1857г. немецкий физик Р.Клаузиус, используя модель идеального газа, впервые систематически изложил кинетическую теорию газов. Он ввел понятие о средних величинах, длине свободного пробега молекул, вычислил давление газа на стенке сосуда и среднюю длину пути между двумя столкновениями молекул.

Идеальным Клаузиус назвал газ, удовлетворяющий следующим условиям:

- 1. Объемом всех молекул газа можно пренебречь по сравнению с объемом сосуда, в котором этот газ находится.*
- 2. Время столкновения молекул друг с другом пренебрежимо мало по сравнению со временем между двумя столкновениями (т.е. времени свободного пробега молекул).*
- 3. Молекулы взаимодействуют между собой только при непосредственном соприкосновении, при этом они отталкиваются.*
- 4. Силы притяжения между молекулами идеального газа малы и ими можно пренебречь.*

Исходя из этих положений, Клаузиус смог вывести все свойства идеального газа и установить соотношения между его микроскопическими и макроскопическими параметрами.

Микроскопические параметры это индивидуальные характеристики газа.

К ним относятся:

- масса молекулы*
- ее скорость*
- импульс*
- кинетическая энергия поступательного движения.*

Макроскопические параметры это параметры газа как физического тела. К ним относятся:

- температура газа*
- объем газа*
- давление газа.*

## 2. Среднее значение квадрата модуля скорости

С самого начала нужно отказаться от попыток проследить за движением всех молекул, из которых состоит газ. Их слишком много, и они движутся очень сложно. Нам и не нужно знать, как движется каждая молекула. Мы должны выяснить, к какому результату приводит движение всех молекул.

Молекулы участвуют в хаотическом (тепловом) движении. Это означает, что скорость любой молекулы может оказаться как очень большой, так и очень малой, а направления движения молекул беспрестанно меняется при их столкновении друг с другом.

Скорости отдельных молекул могут быть любыми, однако среднее значение модуля их скорости вполне определенное. (Точно также рост учеников в классе не одинаков, но среднее значение роста - определенная величина).

В дальнейшем нам понадобится среднее значение не самой скорости, а квадрата скорости. От этой величины зависит средняя кинетическая энергия молекул.

Обозначим модули скоростей отдельных молекул через  $V_1 ; V_2 ; V_3 ; \dots ; V_N$ ; тогда *среднее значение квадрата скорости* определится следующей формулой

$$\overline{V^2} = \frac{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_N^2}{N}; \text{ где } N - \text{ число молекул};$$

Квадрат модуля любого вектора на оси  $Ox, Oy, Oz$  равен:

$$V^2 = V_x^2 + V_y^2 + V_z^2$$

Среднее значение квадратов проекций скоростей:

$$\overline{V^2} = \overline{V_x^2} + \overline{V_y^2} + \overline{V_z^2}$$

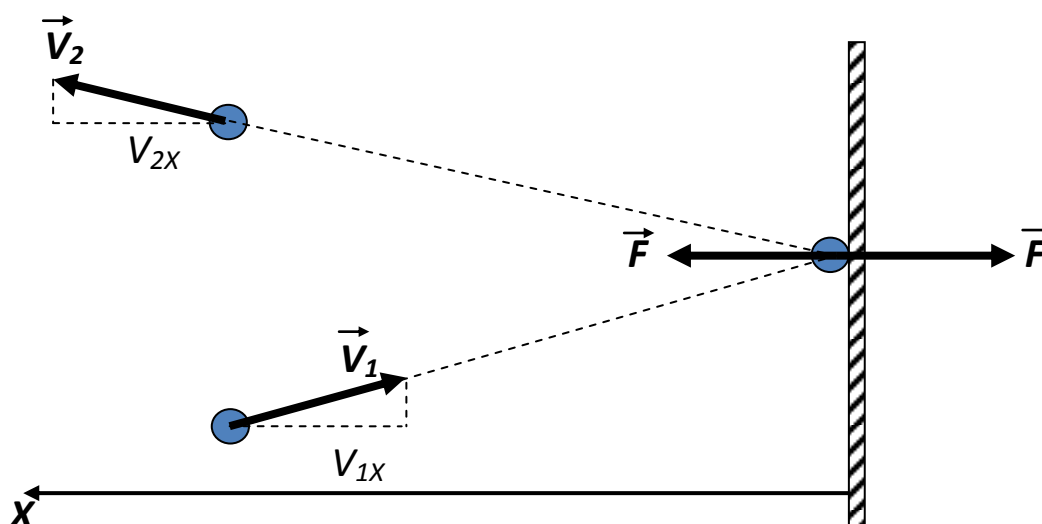
Оси  $Ox, Oy, Oz$  равноправны. Следовательно,

$$\overline{V_x^2} = \overline{V_y^2} = \overline{V_z^2}; \quad \overline{V_x^2} = \frac{1}{3} \overline{V^2}$$

## БЛОК - 5

ОК - 41

## ВЫВОД ОСНОВНОГО УРАВНЕНИЯ МКТ



1. Импульс силы	$F\Delta t = m_0V_{2x} - m_0V_{1x} = m_0V_x - (-m_0V_x) = 2m_0V_x$
2. За время $t$ все молекулы ( $Z$ ) изменят свое направление	$F\Delta t = Z 2m_0 V_x$
3. Рассчитаем число $Z$	<p><math>l = C_1C = V_x t</math> – путь молекулы</p> <p><math>V = C_1C = D_1D = V_x \Delta t S</math> – объем</p> <p><math>N = n V \Delta t S</math> – число молекул в объеме</p> <p>(<math>n = \frac{N}{V}</math> – концентрация)</p> <p>К стенке движется только половина молекул</p> <p><math>Z = \frac{1}{2} n V_x t S</math>; <math>F\Delta t = \frac{1}{2} n V_x t S 2 m_0 V_x</math>;</p> <p><b><math>F = n m_0 V_x^2 S</math></b></p>
4. Рассчитаем давление	<p><math>P = \frac{F}{S} = \frac{nm_0V_x^2S}{S} = nm_0V_x^2</math>; (<math>\overline{V_x^2} = \frac{1}{3}\overline{V^2}</math>)</p> <p><b><math>P = \frac{1}{3}nm_0\overline{V^2}</math></b></p> <p>Уравнение устанавливает связь между макро- и микропараметрами</p>
5. Связь давления со средней кинетической энергией	$P = \frac{2}{3}n \frac{m_0\overline{V^2}}{2} = \frac{2}{3}n\overline{E}$
<b>Давление идеального газа прямо пропорционально средней кинетической энергии поступательного движения молекул, содержащихся в единице объема газа</b>	
6. Связь давления с плотностью газа	$m_0 = \frac{m}{N}$ ; $p = \frac{1}{3} \frac{N}{V} \frac{m}{N} \overline{V^2} = \frac{1}{3} \rho \overline{V^2}$

## Пояснения к ОК-41

**Основное уравнение МКТ газов**

Рассмотрим газ в сосуде, одна из стенок которого представляет собой поршень, способный перемещаться без трения. Вычислим давление газа на поршень, имеющий площадь  $S$ . Поверхность поршня расположена перпендикулярно оси  $Ox$ . Давление газа возникает в результате столкновений молекул с поршнем.

1. при столкновении молекулы со стенкой сосуда проекция  $V_x$  изменяет свой знак, но считается постоянной по модулю, поэтому изменяется и импульс молекулы

$$\begin{aligned} \text{от } m_0 V_{1x} &= -m_0 V_x \\ \text{до } m_0 V_{2x} &= m_0 V_x \end{aligned}$$

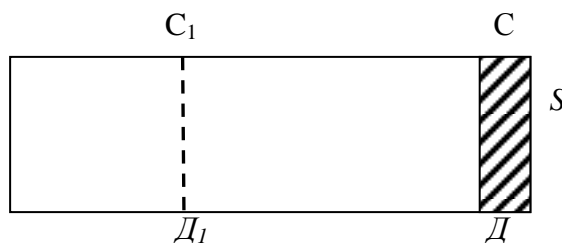
Изменение импульса молекулы показывает, что на нее действует сила  $\vec{F}$   
Изменение импульса молекулы равно импульсу силы

$$F \Delta t = m_0 V_{2x} - m_0 V_{1x} = m_0 V_x - (-m_0 V_x) = 2m_0 V_x$$

2. За время  $t$  все молекулы  $Z$  изменяют свое направление, т.е.

$$F \Delta t = Z 2 m_0 V_x$$

3. Рассчитаем это число молекул



$$l = C_1 C = V_x \Delta t \quad \text{— путь молекулы}$$

$$V = C_1 C D_1 D = V_x \Delta t S \quad \text{— объем}$$

$$N = n V_x \Delta t S \quad \text{— число молекул в объеме}$$

$$\left( n = \frac{N}{V} \text{ — концентрация} \right)$$

Из этого числа молекул к стенке движется только половина, т.к. по любому направлению движутся в среднем равные количества, значит, за время  $t$  со стенкой взаимодействуют

$$Z = \frac{1}{2} n V_x \Delta t S$$

тогда

$$F \Delta t = \frac{1}{2} n V_x \Delta t S 2 m_0 V_x$$

отсюда

$$F = n m_0 V_x^2 S$$

4. Рассчитаем давление на стенки сосуда

$$p = \frac{F}{S} = \frac{n m_0 V_x^2 S}{S} = n m_0 V_x^2$$

Скорости всех молекул различны, для учета этого нужно взять среднее по всем направлениям значение квадрата скорости  $\bar{V}_x^2$  вместо  $V_x^2$ , тогда

$$p = n m_0 V_x^2, \text{ но } \bar{V}_x^2 = \frac{1}{3} \bar{V}^2, \text{ тогда}$$

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \bar{V}^2$$

Эта формула носит название **основного уравнения МКТ**.

**5.** Выразим основное уравнение МКТ через среднюю кинетическую энергию

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

**6.** Выразим основное уравнение МКТ через плотность газа

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \bar{v}^2; \quad m_0 = \frac{m}{N}; \quad n = \frac{N}{V}; \quad p = \frac{1}{3} \frac{N}{V} \frac{m}{N} \bar{v}^2 = \frac{1}{3} \frac{m}{V} \bar{v}^2 = \frac{1}{3} \rho \bar{v}^2$$

Таким образом, с помощью модели идеального газа была установлена связь макроскопического параметра (давления) с микроскопическими параметрами - массой молекулы, концентрацией и средним значением квадрата скорости их хаотического движения.

## БЛОК -5

ОК - 42

## ТЕМПЕРАТУРА

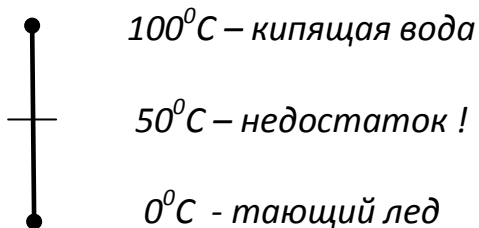
- величина, характеризующая состояние теплового равновесия.

## 1.Измерение температуры

- необходимо привести тело в тепловой контакт с термометром;
- термометр должен иметь массу значительно меньше массы тела;
- показания термометра следует отсчитывать после наступления теплового равновесия.

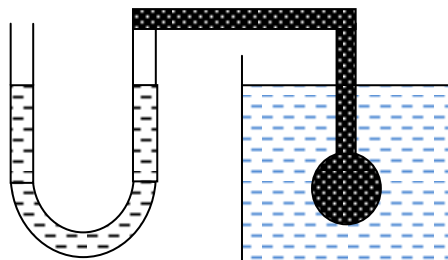
## 2.Термометры

**а.жидкостный** (тепловое равновесие)

**РАБОЧЕЕ ТЕЛО:**

- ртуть от (- 38<sup>0</sup>С до 356<sup>0</sup>С)
- спирт от (- 114<sup>0</sup>С до 78<sup>0</sup>С)
- глицерин от (- 50<sup>0</sup>С до 2300<sup>0</sup>С)

**б.газовый** (изменение давления газа)



$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

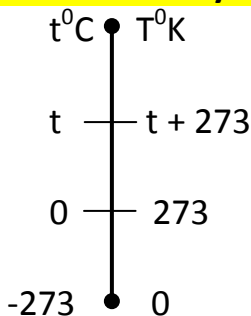
**РАБОЧЕЕ ТЕЛО:**

- водород
  - гелий
  - кислород
- расширяются  
одинаково

## 3.Абсолютная шкала температур (в Международной системе единиц)

При  $T = 0$  -  $E_k$  поступательного движения молекул равна нулю

**Абсолютный нуль** – достичь невозможно!  $T$  – [К] – Кельвин (Томсон);  $\Delta T = \Delta t$



$$\frac{T_K}{T_{пл}} = \frac{P_K}{P_{пл}}$$

$$\frac{T_{пл} + 100}{T_{пл}} = 1,3661 \text{ – экспериментально}$$

$$T_{пл.} = 273^0\text{К}$$

## Пояснения к ОК-42

**1. Температура и ее свойства**

Основное уравнение МКТ для идеального газа устанавливает связь легко измеряемого макроскопического параметра – давления – с микроскопическими – средней кинетической энергией и концентрацией.

Но измерив только давление газа, мы не можем указать ни среднее значение кинетической энергии молекул, ни их концентрации.

Следовательно, для нахождения микроскопических параметров газа нужны измерения величины связанной со средней кинетической энергией молекул. Такой величиной является – температура.

Из повседневного опыта мы знаем, что бывают тела горячие и холодные. При контакте двух этих тел, происходят изменения физических параметров. Через некоторое время после установления контакта между телами изменения макроскопических параметров прекращается.

Такое состояние называется тепловым равновесием или термодинамическим равновесием.

Величина, характеризующая состояние термодинамического равновесия называется температурой.

**2. Измерение температуры и её физический смысл**

Чтобы измерить температуру какого-либо тела необходимо:

- привести тело в тепловой контакт с термометром,
- термометр должен иметь массу значительно меньше массы тела,
- показания термометра следует отсчитывать после наступления теплового равновесия.

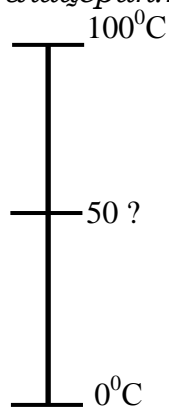
**Жидкостные термометры.**

В повседневной практике наиболее распространен способ измерения температур с помощью жидкостного термометра.

В устройстве жидкостного термометра используется свойство расширения жидкости при нагревании.

В качестве рабочего тела применяют ртуть, спирт, глицерин;

- ртуть: температура от -38 до 260 град.С,
- спирт: температура от -114 до 78 град.С,
- глицерин: температура от -50 до 2300 град.С



При градуировке термометра обычно за начало отсчета принимают температуру тающего льда (0 град.С).

Второй постоянной точкой (100 град.С) считают температуру кипения воды.

Шкалу между точками 0 и 100 делят на 100 равных частей, называемых градусами.

Жидкости при нагревании расширяются не одинаково, поэтому установленная шкала зависит от свойств жидкости.

0 и 100 градусов будут конечно совпадать у всех термометров, но 50 градусов совпадать не будут.

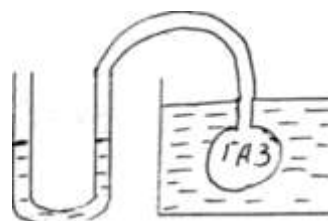
**Газовые термометры.**

Было замечено, что все разреженные газы - водород, гелий, кислород - расширяются при нагревании одинаково.

В газовых термометрах используется зависимость давления газа от температуры. Точными опытами установлено, что давление газа, заключенного в замкнутый сосуд пропорционально температуре.

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Газовый термометр-это небольшой баллон, заполненный газом. Баллон соединяется с манометром. Баллон приводят в контакт со средой, температуру которой надо измерить. Через некоторое время происходит выравнивание температур.



Обозначим давление  $P_1$ , а температуру  $T_1$ .

Если среду подогреть, то ее температура повысится до  $T_2$ , а давление газа увеличится до  $P_2$ , т.е. измерение температуры сводится к измерению давления газа в баллоне.

**3. Абсолютная шкала температур и абсолютный нуль температуры**

У термометра есть шкала, а у температуры единица измерения. Рассмотрим эти вопросы подробнее.

Градуировка термометра, описанная ранее, введена Цельсием. Такая шкала носит название шкалы Цельсия. Градус по шкале Цельсия обозначают  $^{\circ}\text{C}$ . В Международной системе единиц принята *термодинамическая шкала температур или абсолютная шкала температур*.

За нулевую температуру на абсолютной шкале температур приняли температуру, при которой должно прекращаться поступательное движение молекул и следовательно кинетическая энергия поступательного движения молекул должна стать равной нулю.

Эта температура получила название **абсолютного нуля**.

**Абсолютный нуль** - это самая низкая температура, поэтому на абсолютной шкале температур нет отрицательных температур.

Достичь абсолютного нуля невозможно. К нему - лишь можно приблизиться. В настоящее время получены температуры всего на несколько миллионных долей градуса выше абсолютного нуля.

Температуру, отсчитываемую по термодинамической шкале, иногда называют **абсолютной температурой**.

За единицу температуры на абсолютной шкале температур принят Кельвин (1K) в честь английского физика У.Томсона, которому за большие заслуги было присвоено звание лорда Кельвина.

За вторую опорную точку принята температура, при которой вода находится одновременно в трех состояниях (в твердом, жидком, газообразном). Это состояние получило название *тройной точки*. Его температура по шкале Цельсия равна  $0,01^{\circ}\text{C}$ .



Найдем температуру таяния льда по абсолютной шкале температур. Обозначим  $T_{пл}$  - температура плавления льда,  $T_{к}$  - температура кипения воды.

Так как давление газа пропорционально температуре, то

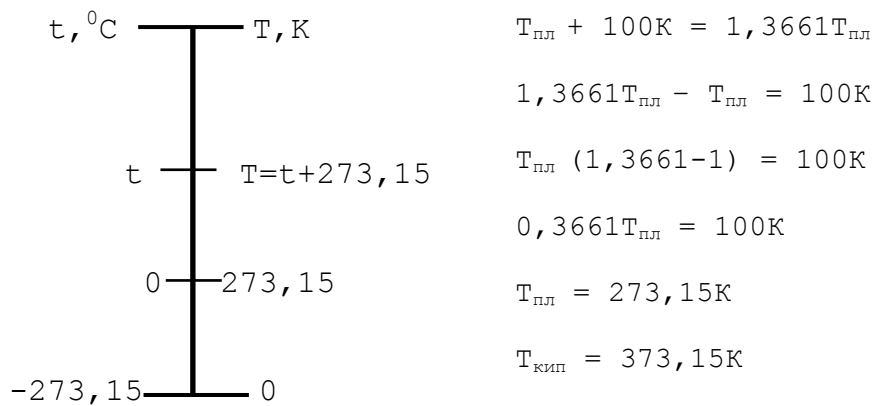
$$\frac{T_{к}}{T_{пл}} = \frac{P_{к}}{P_{пл}}$$

$P_{к}$  и  $P_{пл}$  - соответствующие давления газа в газовом термометре.

Известно, что  $T_{к} = T_{пл} + 100 \text{ K}$

Или

$$\frac{T_{пл}+100\text{K}}{T_{пл}} = \frac{P_{к}}{P_{пл}} = 1,3661 \text{ (отношение } \frac{P_{к}}{P_{пл}} \text{ было найдено экспериментально)}$$



## БЛОК - 5

## ОК - 43

## ТЕМПЕРАТУРА

## 1. Физический смысл температуры

$$p \sim n; p \sim T; p \sim nT; p = knT; \quad p = \frac{2}{3} n\bar{E}; \Rightarrow knT = \frac{2}{3} n\bar{E}$$

$$T = \frac{2}{3} \frac{1}{k} \bar{E}$$

**Температурой** называют скалярную величину, характеризующую интенсивность теплового движения молекул изолированной системы в условиях теплового равновесия, пропорциональную средней кинетической энергии поступательного движения молекул.

## 2. Постоянная Больцмана (экспериментально)

$$p = knT = k \frac{N}{V} T; \quad k = \frac{pV/N}{T}; \quad \frac{pV}{N} = kT = \text{const}$$

$$\frac{p_2 V_2}{N_2} = 5,14 * 10^{-21} \text{ Дж} - \text{при } 100^\circ\text{C}; \quad \frac{p_1 V_1}{N_1} = 3,76 * 10^{-21} \text{ Дж} - \text{при } 0^\circ\text{C};$$

**Разность равна  $1,36 * 10^{-21}$  Дж**

$$k = \frac{1,36 * 10^{-21} \text{ Дж}}{100\text{К}} = 1,36 * 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

## 3. Скорость молекул газа.

$$\bar{E} = \frac{3}{2} kT;$$

$$\bar{E} = \frac{m_0 \bar{v}^2}{2};$$

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$$

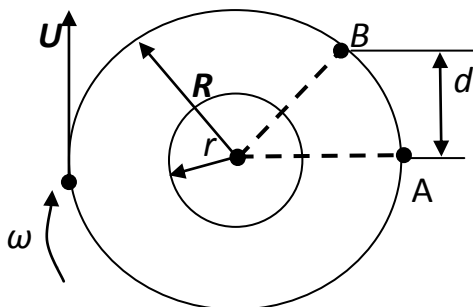
- средняя квадратичная скорость  
(«три кота на мясо»)

$$V_{\text{водорода}} = 1800 \text{ м/с}$$

$$V_{\text{азота}} = 500 \text{ м/с}$$

Физики XIX в. – **ошеломлены!**

## 4. Опыт Штерна (1920г.)



$$d = U * t = \omega * R * t$$

$$t = \frac{d}{\omega R}; \quad V = (R - r)t$$

$$V = \frac{\omega R(R - r)}{d}$$

$$V_{\text{серебра}} \approx 650 \text{ м/с}$$

**Слой серебра в т.В размытый, т.к. скорости молекул различны**

## Пояснения к ОК-43

**1. Физический смысл температуры**

Известно, что при откачивании газа из сосуда давление будет уменьшаться, а так как температура газа и объем остались неизменными, то следует, что

$$p \sim n$$

кроме того, известно

$$p \sim T \text{ или } p \sim nT$$

Чтобы записать эту зависимость в виде равенства, необходимо ввести коэффициент пропорциональности

$$p = nkT$$

С другой стороны известно, что

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

приравняем правые части двух равенств

$$knT = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}$$

$$T = \frac{1}{k} \frac{2}{3} \frac{m_0 \bar{v}^2}{2} \rightarrow T = \frac{2}{3k} \bar{E} \rightarrow \bar{E} = \frac{3}{2} kT$$

Температура прямо пропорциональна средней кинетической энергии поступательного движения молекул.

**Температурой называют** скалярную величину, характеризующую интенсивность теплового движения молекул изолированной системы в условиях термодинамического равновесия, пропорциональную средней кинетической энергии поступательного движения молекул.

**Постоянная Больцмана.**

Постоянный коэффициент **k** называют постоянной Больцмана (в честь австрийского физика Людвига Больцмана).

Рассмотрим физический смысл этой постоянной

$$k = \frac{2/3 \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}}{T}$$

Здесь числитель – величина, выраженная в джоулях и названная энергетической температурой, а знаменатель – соответствующая ей температура в кельвинах.

Следовательно, постоянная Больцмана равна отношению температуры, выраженной в единицах энергии (джоулях), к той же температуре, выраженной в кельвинах, эта величина может быть найдена только экспериментально.

$$k = 1,38 * 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

## 2. Скорость теплового движения молекул

$$\bar{E} = \frac{3}{2}kT, \text{ но } \bar{E} = \frac{m_0\bar{V}^2}{2}, \text{ тогда } \frac{m_0\bar{V}^2}{2} = \frac{3}{2}kT;$$

$$\bar{V}^2 = \frac{3kT}{m_0} - \text{«три кота на мясе» - Шутка!}$$

$$\sqrt{\bar{V}^2} \approx \bar{V} \approx \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} - \text{средняя квадратичная скорость.}$$

Средняя квадратичная скорость теплового движения молекул не равна их средней скорости, т.е.  $\bar{V} \neq \sqrt{\bar{V}^2}$

Вычисляя по формуле скорость молекул, например азота и водорода, при  $t=0^\circ\text{C}$ , получим соответственно  $\bar{V}_{\text{азота}} \approx 1800 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  и  $\bar{V}_{\text{водорода}} \approx 500 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

Физики XIX века были ошемлены!!!

Скорости молекул газа по расчетам оказались больше, чем скорости артиллерийских снарядов!

Высказывались сомнения в справедливости кинетической энергии. Ведь известно, что диффузия в газах протекает очень медленно.

Это нетрудно объяснить. Из-за столкновений молекул траектория каждой молекулы представляет собой запутанную линию. Большие скорости молекула имеет на прямолинейных участках.

## 3. Распределение молекул по скоростям

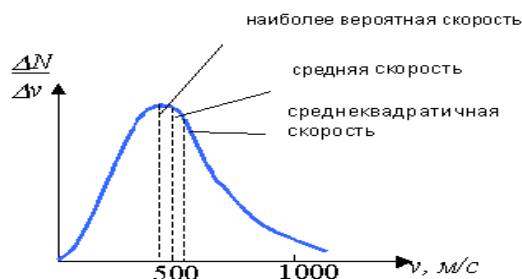
Развитию МКТ газов способствовала работа английского физика Дж.Максвелла "Пояснения к динамической теории газов".(1860г.)

В этой работе Максвелл пришел к фундаментальному выводу: молекулы газа движутся с различными скоростями (ранее считалось, что скорости молекул одинаковые).

При столкновении молекул направления и модули их скоростей изменяются, но распределение молекул по скоростям остается неизменным.

Исходя из основных положений МКТ, Дж.Максвелл вывел закон распределения молекул газа по скоростям.

Проанализируем график, иллюстрирующий максвеловское распределение по скоростям.

Рис.1. Распределение молекул O<sub>2</sub> по скоростям при 300К

На оси абсцисс отложен модуль скорости, на оси ординат - относительное число молекул, скорости которых лежат в интервале значений  $от V до V + \Delta V$ .

**1.** Из рисунка 1 видно, что значительное число молекул движется со скоростью близкой к значению  $V_B$  (несмотря на хаотическое движение), которая называется наиболее вероятной скоростью.

Данная скорость является своеобразным рубежом: молекулы, движущиеся со скоростями как большими, так и меньшими, встречаются реже молекул, движущихся с наиболее вероятной скоростью. Значение этой скорости равно,

$$V_B = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}}$$

Сопоставим формулы наиболее вероятной скорости со средней квадратичной скоростью и со средней скоростью.

$$V_B = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}}$$

$$\bar{V}_{кв} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$$

$$\bar{V}_{ср} = \sqrt{\frac{2,55kT}{m_0}}$$

Средняя скорость больше вероятной. Причина ясна из вида кривой распределения: так как кривая распределения уходит далеко вправо, то туда же сдвинуты и средние значения скорости.

**2.** Хотя молекулы могут двигаться с любыми скоростями, фактическое число молекул, скорость которых значительно отличается от наиболее вероятной, весьма мало.

Нулю равно число молекул, скорость которых равна нулю - это значит, что в веществе нет покоящихся молекул.

**3.** Конкретный вид кривой зависит от рода газа (от массы молекулы  $m_0$ ) и температуры.

Зависимость распределения Максвелла от температуры.

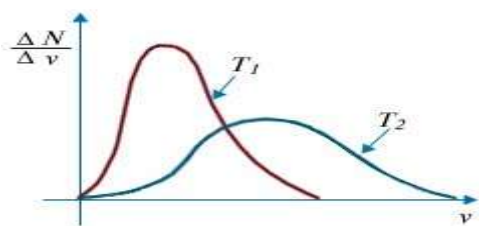
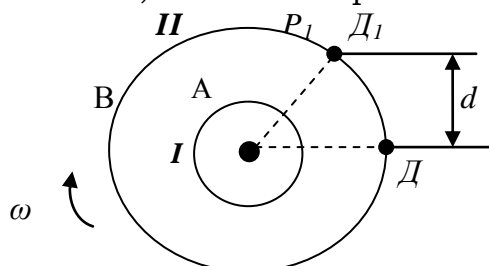


Рис.2

**4.** С повышением температуры (рис.2) максимум распределения сдвигается в сторону больших скоростей, а кривая становится более полой ( $T_2 > T_1$ ).

#### 4. Опыт Штерна

Метод определения скоростей молекул был предложен в 1920г. Штерном. Измерение скоростей молекул было проведено на установке, схема которой показана на рисунке.



Установка состоит из двух концентрических цилиндров **A** и **B**, имеющих различные диаметры и общую ось. Воздух из цилиндров откачан.

В цилиндре **A** имеется узкая щель **C**. По оси цилиндра протянута платиновая проволока, покрытая слоем серебра, по которой пропускают электрический ток. При нагревании проволоочки током серебро испаряется, атомы его вылетают через щель **C** и попадают на внутреннюю поверхность цилиндра **B**. Если оба цилиндра неподвижны, то все атомы серебра независимо от их скорости, попадают в одно и то же место **D**. При одновременном вращении обоих цилиндров с угловой скоростью  $\omega$  атомы серебра попадают в другую точку **D1**. Зная расстояние **d**, угловую скоростью  $\omega$ , радиусы **R** и **r** цилиндров, можно вычислить скорость молекулы.

$$d = Ut; \quad U - \text{скорость внешнего цилиндра } (U = \omega R)$$

$$d = \omega R t; \quad t = \frac{d}{\omega R}; \quad V = (R - r)t;$$

$$V = \frac{\omega R(R - r)}{d}$$

Средняя скорость серебра оказалась равной 650м/с.

Но слой серебра на внешнем цилиндре получился размытым. Это означало, что скорости движения атомов различны.

**Р.С.** В подобных опытах определяется функция распределения молекул по скоростям не в самом сосуде, а в молекулярном пучке, вылетающем из сосуда. Поэтому, наиболее вероятной скоростью молекул в пучке будет средняя скорость потока. Скорость истечения газа из отверстия в сосуде, в котором имеется давление **P1**, в окружающую среду с давлением **P2**, будет равна

$$V = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}}$$

Эта формула служит для вычисления струи газа, выходящего из сосуда с высоким давлением **P1** в сосуд с низким давлением **P2**.

В цилиндре I пары серебра можно считать идеальным газом и поэтому

$$P_1 = nkT$$

В цилиндре II поддерживается вакуум и можно полагать  $P_2=0$ , тогда ( $\rho=nm_0$ )

$$V = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}}$$

т.е. средняя скорость молекул в потоке газа, выходящего из сосуда в вакуум, в точности равна средней наивероятной скорости молекул.

### **Средняя скорость броуновской частицы.**

Броуновская частица массой  $m$  участвует в тепловом движении молекул, поэтому её средняя скорость приближенно может быть определена так:

$$\bar{V} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$$

Средняя скорость броуновской частицы зависит от **T** и **m**:

-чем больше **T**, тем больше скорость броуновской частицы;

-с увеличением **m** скорость убывает.

БЛОК -5

ОК - 44

**УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА**

- уравнение, связывающее  $P, V, T$  и характеризующее состояние данной системы газа.

$$P = nkT = \frac{N}{V} kT; \quad \frac{PV}{T} = Nk = const;$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

- **уравнение Клапейрона** (1834г.)  
(для  $m = const$ )

$$N = \frac{m}{M} N_A; \quad \frac{PV}{T} = \frac{m}{M} k N_A;$$

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

- универсальная газовая постоянная

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

- **уравнение Клапейрона-Менделеева** (1874г.)  
(для произвольной массы газа)

**Нормальные условия**

$$p_{\text{н.у.}} = 10^5 \text{ Па}$$

$$T_{\text{н.у.}} = 273 \text{ К}$$

$$V_0 = 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 - 1 \text{ моль}$$

**Закон Авогадро.** Из формулы  $p = nkT$  следует, что при одинаковых давлениях и температурах концентрация молекул у всех газов одна и та же.

$$p = p_1 + p_2 \dots + p_n - \text{закон Дальтона}$$

давление смеси газов равно сумме давлений, производимых каждым газом в отдельности, если бы он один занимал весь сосуд



## Пояснения к ОК-44

**1. Уравнение состояния идеального газа (уравнение Клапейрона)**

В 1834 г. Французский физик Б.Клапейрон, работавший длительное время в Петербурге, вывел уравнение идеального газа для постоянной массы газа ( $m=const$ ).

Из уравнения  $\frac{m_0 \bar{v}^2}{2} = \frac{3}{2} kT$

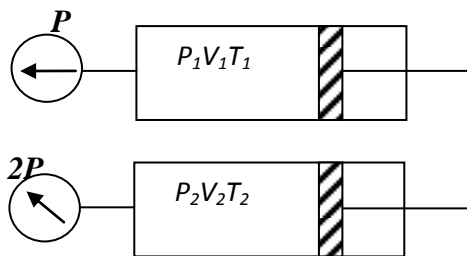
и основного уравнения МКТ  $p = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}$

получаем  $p = nkT$  зная, что  $n = \frac{N}{V}$ ,  $N = const$ , получим  $p = \frac{NkT}{V}$

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

Это уравнение связывает давление, объем и температуру, которое определяет состояние идеального газа, и называется *уравнением состояния идеального газа*.

Для постоянной массы идеального газа отношение произведения давления на объем к данной температуре есть величина постоянная.



$$\begin{aligned} P_0 &= 10^5 \text{ Па} \\ V_0 &= 22,4 \text{ м}^3 - 1 \text{ моль} \\ T_0 &= 273 \text{ К} \end{aligned}$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} = const$$

- уравнение Клапейрона

**2. Уравнение Менделеева - Клапейрона**

Для одного моля газа при нормальных условиях

$$\frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{10^5 * 0,024 \frac{\text{м}^3}{\text{моль}}}{273 \text{ К}} = 8,31 \frac{\text{Н} * \text{м}^3}{\text{м}^2 * \text{моль} * \text{К}}$$

или

$$N_A k = 6,02 * 10^{23} \text{ моль}^{-1} * 1,38 * 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}} = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} * \text{К}} = R$$

**R – универсальная газовая постоянная**

В 1874 г. Д.И.Менделеев вывел уравнение для произвольного числа молекул

$$N = \frac{m}{m_0} \rightarrow N = \frac{m}{M} N_A \rightarrow \frac{PV}{T} = \frac{m}{M} N_A k \rightarrow \frac{PV}{T} = \frac{m}{M} R$$

или

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

**это и есть уравнение Клапейрона - Менделеева.**

### **Закон Авогадро.**

Из формулы  $p = nkT$  следует, что при одинаковых давлениях и температурах концентрация молекул у всех газов одна и та же.

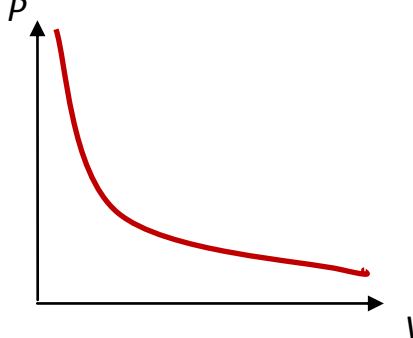
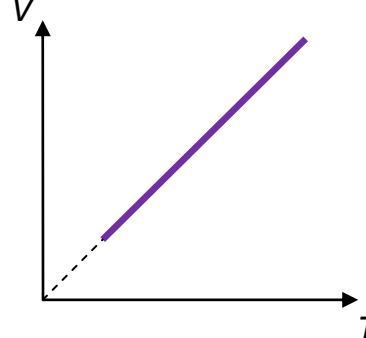
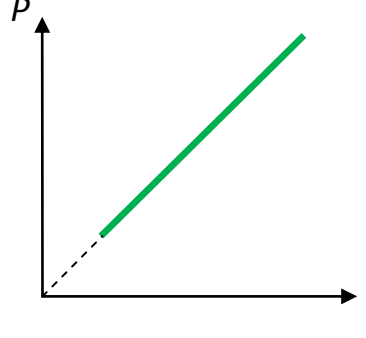
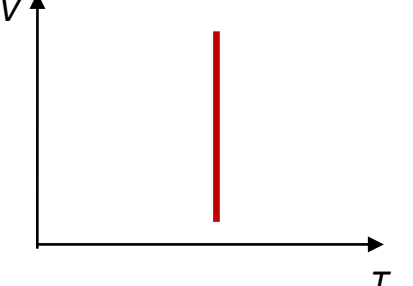
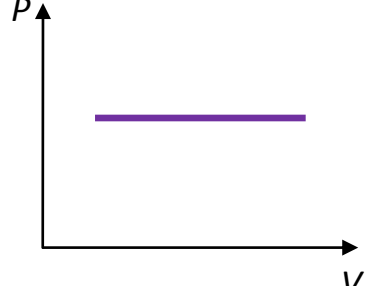
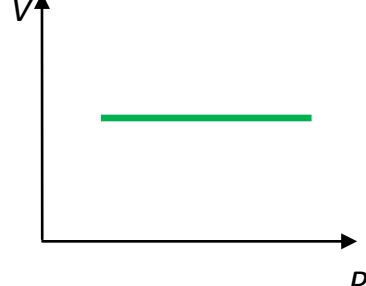
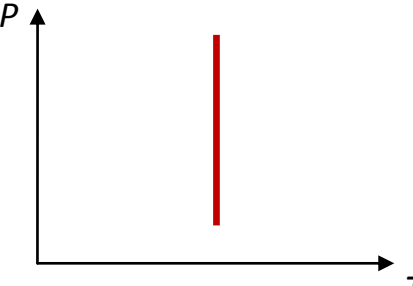
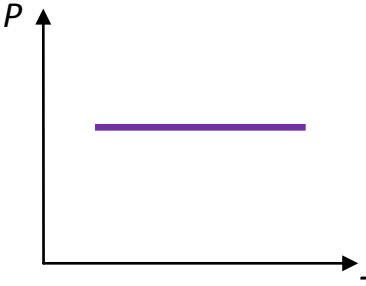
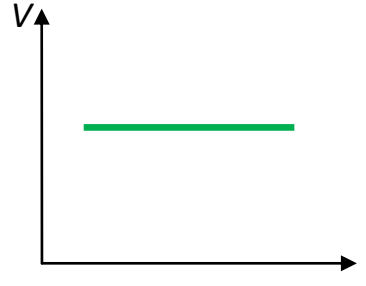
### **Закон Дальтона.**

Если в сосуде находится смесь нескольких газов, не вступающих в химические реакции друг с другом, то давление смеси газов равно сумме давлений, производимых каждым газом в отдельности, если бы он один занимал весь сосуд.

## БЛОК -5

## ИЗОПРОЦЕССЫ

ОК - 45

<p><b>Изотермический</b> (закон Бойля-Мариотта) 1662г. 1667г. <math>T, m, M = const</math></p>	<p><b>Изобарный</b> (закон Гей-Люссака) 1802г. <math>P, m, M = const</math></p>	<p><b>Изохорный</b> (закон Шарля) 1787г. <math>V, m, M = const</math></p>
$PV = const$	$\frac{V}{T} = const$	$\frac{P}{T} = const$
$P_1V_1 = P_2V_2$	$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$	$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$
<p>Произведение <math>P</math> данной массы газа на его <math>V</math> – постоянно, если <math>T</math> газа не меняется</p>	<p><math>V</math> данной массы газа при постоянном <math>P</math> пропорционален <math>T</math></p>	<p><math>P</math> данной массы газа при постоянном <math>V</math> пропорционален <math>T</math></p>
<p><b>ИЗОТЕРМЫ</b></p>	<p><b>ИЗОБАРЫ</b></p>	<p><b>ИЗОХОРЫ</b></p>
		
		
		

При высоких давлениях и низких температурах наблюдаются отклонения от законов

## Пояснения к ОК-45

## 1. Частные случаи уравнения состояния идеального газа. Изопроцессы

Всякое изменение состояния тела называется термодинамическим процессом. В любом термодинамическом процессе изменяются параметры, определяющие состояние тела.

Нет ни одного процесса, при котором изменялся бы только один параметр. Изменение одного параметра ведет к изменению остальных.

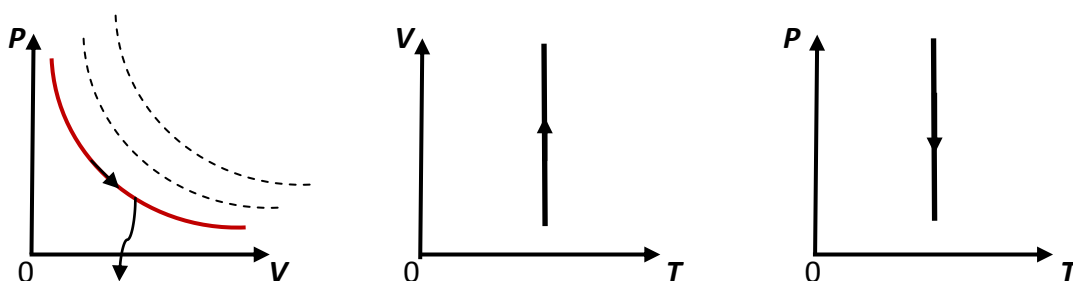
Процесс, при котором один из параметров сохраняется постоянным, а два других изменяются, **называют изопроцессом**.

### а. Изотермический процесс. Закон Бойля - Мариотта.

В 1662 г. английский ученый Р.Бойль и в 1667г. независимо от него французский ученый Э.Мариотт на основе опытов установили, что для данной массы газа при постоянной температуре произведение объема газа на соответствующее ему давление есть величина постоянная.

при  $T = const \rightarrow PV = const$  или

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1}$$



Чем ближе изотерма к нулю, тем меньше температура

### б. Изобарный процесс. Закон Гей - Люссака.

Изучая поведение газа при изменении температуры, французский физик Гей-Люссак в 1802 г. Установил, что для данной массы газа отношение объема к температуре постоянно, если давление газа не меняется.

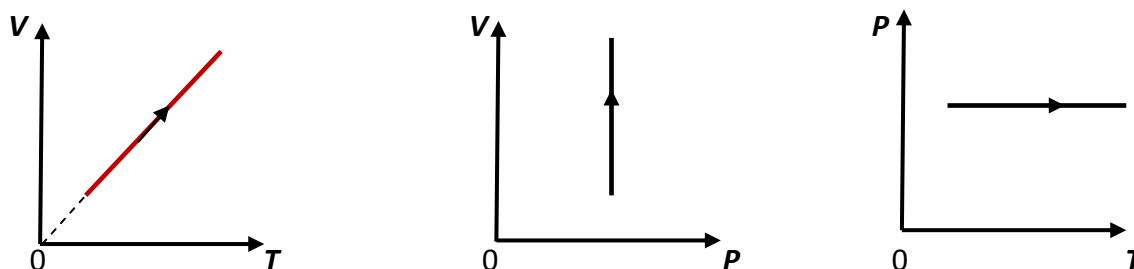
при  $P = const \rightarrow \frac{V}{T} = const$  или

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Объем данной массы газа при постоянном давлении зависит от температуры по линейному закону.

$$V = V_0(1 + \alpha_V \Delta t)$$

где  $\alpha_V$  – коэффициент объемного расширения.



**в. Изохорный процесс. Закон Шарля.**

Французский ученый Ж.Шарль и независимо от него французский физик Гей-Люссак в 1787 г. установили, что для данной массы газа отношение давления к температуре постоянно, если объем газа не меняется.

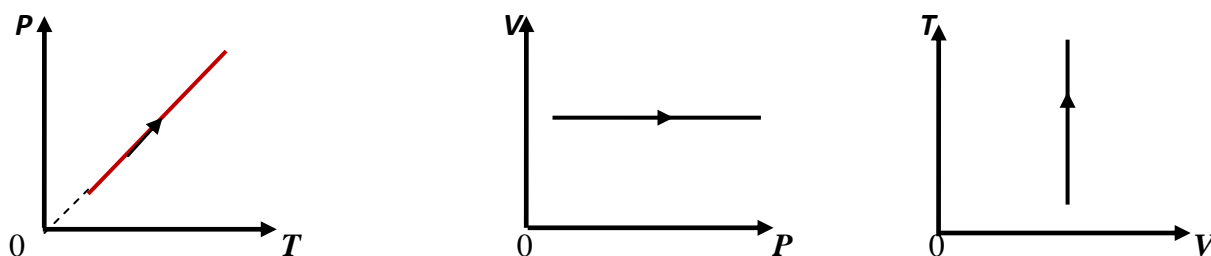
$$\text{при } V = \text{const} \rightarrow \frac{P}{T} = \text{const} \quad \text{или}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Давление данной массы газа при постоянном объеме зависит от температуры по линейному закону.

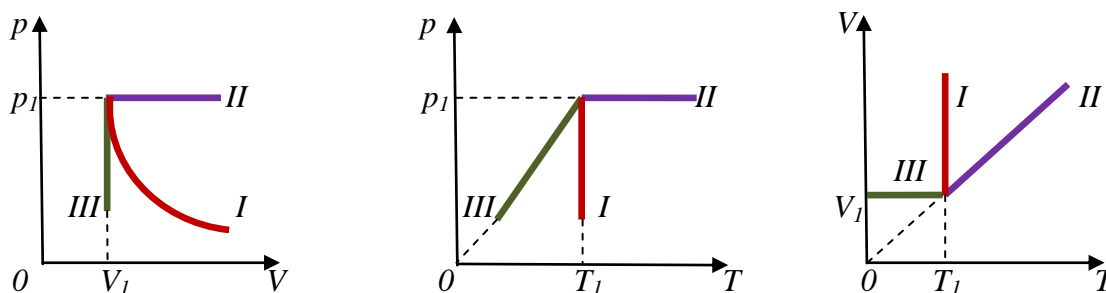
$$P = P_0(1 + \beta \Delta t)$$

где  $\beta$  – коэффициент объемного давления.



Экспериментальная проверка современными методами показала, что уравнение состояния идеального газа и вытекающие из него законы Бойля-Мариотта, Гей-Люссака, Шарля достаточно точно описывают поведение реальных газов при небольших давлениях и высоких температурах; при высоких давлениях и низких температурах наблюдается значительные отступления от этих законов.

Изобразим все три процесса в координатах  $p(V)$ ,  $p(T)$ ,  $V(T)$



*I – изотермический процесс*

*II – изобарный процесс*

*III – изохорный процесс*

## 2. Свойства газов и их использование

Свойства	Использование
<p><b>а. Газ - сжатое упругое тело.</b></p> <p><i>Газ подобен пружине, которая всегда сжата. Существенно то, что малые массы газа могут создавать сравнительно большие давления.</i></p>	<p>- амортизаторы, шины.</p>
<p><b>б. Зависимость давления и объема газа от температуры.</b></p> <p><i>Давление и объем газов значительно . увеличивается при повышении температуры. При нагревании на один градус объем газа при постоянном давлении увеличивается в сотни раз больше, чем объем жидких и твердых тел.</i></p>	<p>Газ - рабочее тело</p> <p>-двигатели на сжатом газе;</p> <p>-открывание дверей в автобусах, электропоездах;</p> <p>-воздушные тормоза железнодорожных вагонов и грузовиков;</p> <p>-небольшие реактивные двигатели, работающие на сжатом газе-гелии, служащие для ориентации космического корабля;</p> <p>-при сгорании горючей смеси в цилиндре температура резко увеличивается, давление на поршень растет и газ, расширяясь, совершает работу;</p> <p>-огнестрельное оружие. Сила давления газов продуктов сгорания взрывчатых веществ выталкивает пулю из ствола.</p>
<p><b>в. Зависимость давления газа от его массы.</b></p>	<p>накачивание автомобильной шины или футбольного мяча воздухом.</p>
<p><b>г. Большая сжимаемость газов.</b></p> <p><i>Газы по сравнению с жидкостями и твердыми телами легко сжимаются</i></p>	<p>хорошая сжимаемость позволяет, запасать газы в больших количествах в баллонах, удобных для хранения. Сжатый природный газ транспортируется по трубам на расстояния в тысячи километров.</p>

**БЛОК -5****ВЗК - 5****Повторим теорию!**  
**«Основные положения МКТ»**

1. Что изучает молекулярная физика? Что такое МКТ? Расскажите краткую историю развития этой теории.
2. Первое положение МКТ и его опытное обоснование.
3. Второе положение МКТ и его опытное обоснование.
4. Третье положение МКТ и его опытное обоснование.
5. Четвертое положение МКТ и его опытное обоснование.
6. Что называется диффузией и от чего зависит скорость протекания диффузии?
7. Что называют броуновским движением и каковы причины такого движения?
8. Какую природу имеют силы взаимодействия между молекулами? Как зависят силы взаимодействия двух изолированных молекул от расстояния между ними? Приведите график этой зависимости.
9. Каковы особенности строения газов?
10. Каковы особенности строения жидкостей?
11. Каковы особенности строения твердых тел?
12. Что такое относительная молекулярная масса вещества и как её определить?
13. Что называется количеством вещества? В каких единицах выражается?
14. Что показывает постоянная Авогадро? Чему равно её значение?
15. Что такое молярная масса вещества? В каких единицах она выражается? По какой формуле вычисляется?
16. Расскажите о способе определения размеров и массы молекулы.
17. Какой газ называют идеальным? Каким условиям он должен удовлетворять?
18. Среднее значение квадрата модуля скорости на ось.
19. Вывод основного уравнения МКТ?
20. Что называется температурой и как её измерить?
21. Термометры – жидкостный и газовый.
22. Что такое абсолютная шкала температур и что такое абсолютный ноль?
23. Каков физический смысл температуры?
24. Каков физический смысл постоянной Больцмана и чему равно её значение?
25. От чего зависит средняя квадратичная скорость движения молекул и чему равна она для молекул водорода и кислорода?
26. Опишите опыт Штерна?
27. Что называют основным уравнением идеального газа? Запишите уравнение Клайперона и выведите уравнение Клайперона-Менделеева.
28. Чему равно давление и температура при нормальных условиях?
29. Какие процессы называют изопроцессами?
30. Закон Бойля-Мариотта. Какой закон подчиняется этому закону?
31. Закон Гей-Люссака. Какой процесс подчиняется этому закону?
32. Закон Шарля. Какой процесс подчиняется этому закону?
33. При каких условиях наблюдаются отклонения от законов Бойля-Мариотта, Гей – Люссака, Шарля?

### Основные формулы раздела «Молекулярная физика»

Основные формулы	
$A_r = \frac{m_0}{1/12m_{0c}}$	Относительная атомная масса $m_0$ - масса атома элемента
$M_r = \frac{m_0}{1/12m_{0c}}$	Относительная молекулярная масса $m_0$ - масса молекул вещества
<p><b>Моль</b>-это количество вещества, содержащегося столько же молекул (атомов), сколько содержится атомов в 0,012кг углерода.</p> <p>В 1 моле любого вещества содержится одно и то же число атомов или молекул. Число атомов или молекул, содержащихся в одном моле вещества, называют <b>числом или постоянной Авогадро</b>.</p>	
$N_A = \frac{m_c(1 \text{ моль})}{m_{0c}} = \frac{0,012\text{кг/моль}}{1,995 * 10^{-26}\text{кг}} = 6,02 * 10^{23} \text{ моль}^{-1}$	
$M = \frac{m}{\nu}$	Молярная масса
$\nu = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M}$ - моль	Количество вещества
$m_0 = \frac{m}{N} = \frac{M}{N_A}$	Масса молекулы
$M = 10^{-3} M_r \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$	Связь между молярной массой и относительной молекулярной массой
Идеальный газ	
$n = \frac{N}{V}$	Концентрация газов
$\bar{v}_x^2 = \frac{1}{3} \bar{v}^2$	Средний квадрат проекции скорости равен 1/3 среднего квадрата самой скорости
$P = \frac{1}{3} n m_0 \bar{v}^2$	Основное уравнение МКТ - устанавливает связь между макро- и микропараметрами
$P = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \bar{v}^2}{2} = \frac{2}{3} n \bar{E}$	Связь давления со средней кинетической энергией
$p = \frac{1}{3} \rho \bar{v}^2$	Связь давления с плотностью газа
Температура	
$T = \frac{2\bar{E}}{3k}$	Температура прямо пропорциональна средней кинетической энергии поступательного движения молекул.
$\bar{E} = \frac{3}{2} kT$	Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул
$p = knT$	Связь давления с температурой
$k = 1,36 * 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$	Постоянная Больцмана



$\bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$	<i>Средняя квадратичная скорость молекул газа</i>
<b>Уравнение состояния идеального газа</b>	
$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$	<i>Уравнение Клайперона (<math>m=const</math>)</i>
$PV = \frac{m}{M} RT$	<i>уравнение Клайперона-Менделеева</i>
$p = p_1 + p_2 \dots + p_n$	<i>Закон Дальтона для давления смеси разряженных газов – давление смеси газов равно сумме давлений, производимых каждым газом в отдельности, если бы он один занимал весь сосуд</i>

## Газовые законы

Изотермический (закон Бойля-Мариотта) 1662г. 1667г. $T, m, M = const$	Изобарный (закон Гей-Люссака) 1802г. $P, m, M = const$	Изохорный (закон Шарля) 1787г. $V, m, M = const$
$PV = const$	$\frac{V}{T} = const$	$\frac{P}{T} = const$
$P_1V_1 = P_2V_2$	$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$	$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$
Произведение $P$ данной массы газа на его $V$ – постоянно, если $T$ газа не меняется	$V$ данной массы газа при постоянном $P$ пропорционален $T$	$P$ данной массы газа при постоянном $V$ пропорционален $T$
ИЗОТЕРМЫ	ИЗОБАРЫ	ИЗОХОРЫ
