

ОТММП

Основы молекулярно-кинетической теории



Содержание раздела:

- ◆ Тема 1. Основные положения МКТ
- ◆ Тема 2. Идеальный газ
- ◆ Тема 3. Основное уравнение МКТ
- ◆ Тема 4. Газовые законы

ОТММП

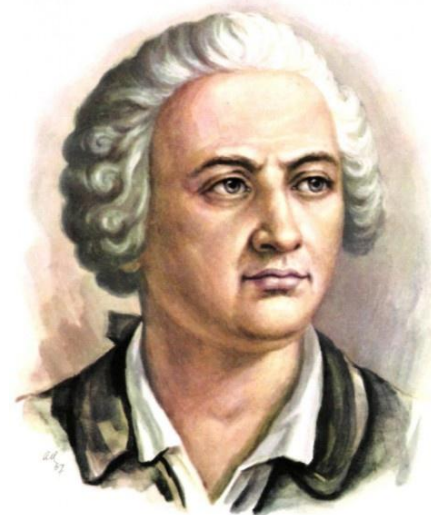
Тема 1. Основные положения МКТ



Основные понятия

Молекулярная физика – раздел физики, изучающий зависимости строения и физических свойств тел от характера движения и взаимодействия между частицами, из которых состоят тела.

«... теплота состоит во внутреннем движении материи» - из работы М.В. Ломоносова «Размышления о причине теплоты и холода» (1750)



Основные понятия

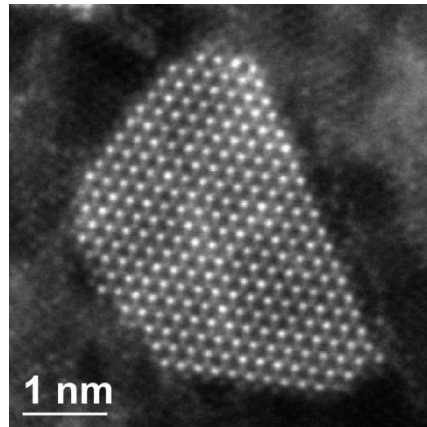
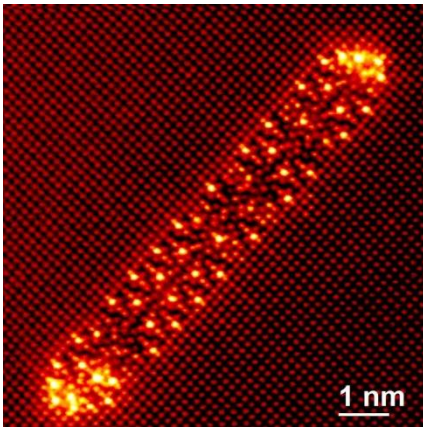
Атомом называют наименьшую частицу данного химического элемента.

Молекулой называют наименьшую устойчивую частицу данного вещества, обладающую его основными химическими свойствами.



Основные положения МКТ

1. Все тела состоят из мельчайших частиц – атомов, молекул, в состав которых входят ещё более мелкие элементарные частицы (электроны, протоны, нейтроны). Строение любого вещества дискретно.



Электронный микроскоп

Основные положения МКТ

2. Атомы и молекулы вещества всегда находятся в непрерывном хаотическом (беспорядочном) движении.

Диффузия перманганата калия в воде

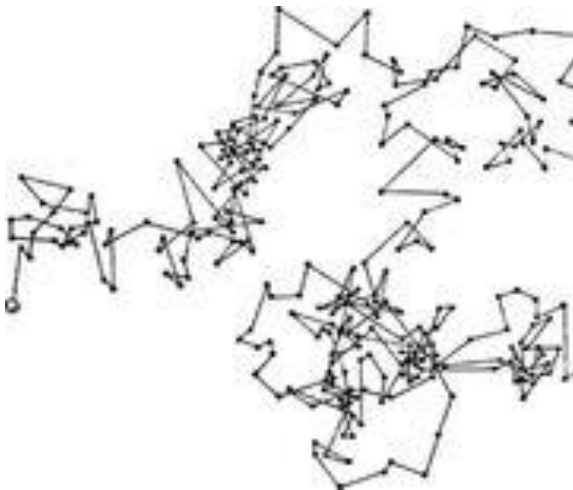
Диффузия — процесс взаимного проникновения молекул или атомов одного вещества между молекулами или атомами другого



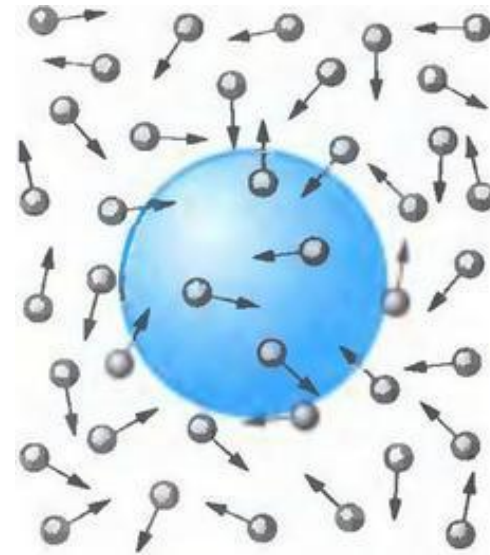
Р. Броун, 1827 г.

Броуновское движение

Броуновским движением называется хаотическое и беспорядочное движение маленьких частиц, как правило, молекул в разных жидкостях или газах.



Броуновское движение
частицы гуммигута в воде



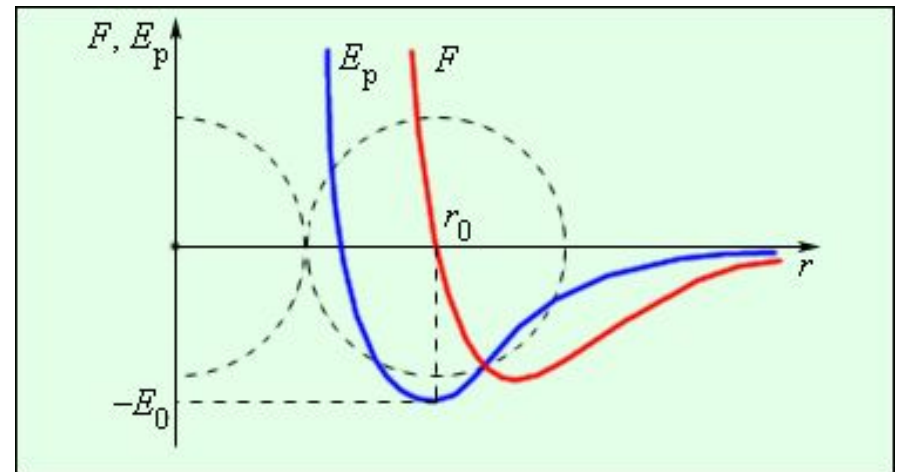
Объяснение: удары молекул о частицу
не компенсируют друг друга

Основные положения МКТ

3. Между частицами любого вещества существуют силы взаимодействия – притяжения и отталкивания. Природа сил – электромагнитная.

Положение устойчивого равновесия соответствует минимуму потенциальной энергии.

r_0 – расстояние устойчивого равновесия между молекулами.



Масса молекул



$$1 \text{ а.е.м. (атомная единица массы)} = 1/12 m_{\text{C}} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

M_r - относительная молекулярная масса,
безразмерная величина, равная отношению массы
молекулы к $1/12$ массы атома углерода ^{12}C .

Задание 1

Определите относительную молекулярную массу следующих
веществ: O_2 , HCl , Cu_2SO_4

Количество вещества

Количество вещества ν — физическая величина, характеризующая количество однотипных структурных единиц, содержащихся в данной порции вещества. Единица измерения – моль.

Моль – количество вещества, содержащего столько же молекул (атомов), сколько содержится атомов в 0,012 кг углерода. Моль любого вещества содержит одинаковое число молекул (атомов), это число называют **числом Авогадро**.

$$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

Молярная масса M – масса одного моля вещества, кг/моль.

$$M = M_r \cdot 10^{-3}$$

N – число молекул (атомов) в веществе.

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

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

Закрепление



Задание 2

Определите молярную массу следующих веществ: аммиак, гелий, органического соединения $(C_3H_6O)_2$.

Задание 3

Определите массу одной молекулы воды.

Задание 4

Поместятся ли 50 молей ртути в трёхлитровую банку?

ОТММП

Тема 2. Идеальный газ



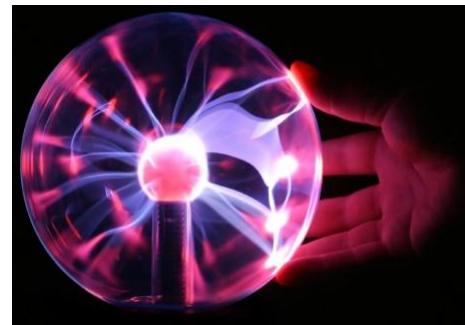
Строение газообразных, жидких и твёрдых тел

Газы. Частицы газа не связаны молекулярными силами притяжения и движутся свободно, равномерно, заполняя весь предоставленный им объём.

Жидкости. Обладают текучестью, сохраняют объём. Состояние, в котором наблюдается упорядоченное относительное расположение соседних частиц.

Твёрдые тела. Сохраняют форму и объём. Атомы и молекулы расположены упорядоченно.

Плазма – состояние, в котором имеется большое количество положительно и отрицательно заряженных ионов, а также свободных электронов.



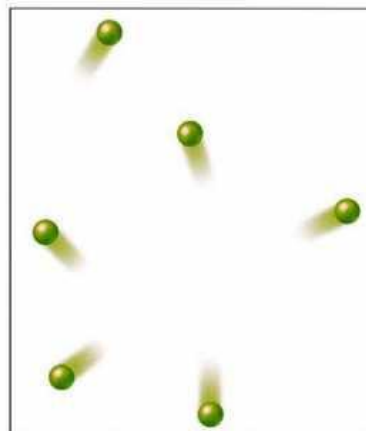
Идеальный газ. Параметры состояния

Идеальным газом называют такой газ, для которого можно пренебречь размерами молекул, силами молекулярного взаимодействия; соударения молекул в таком газе происходят по закону соударения упругих шаров.

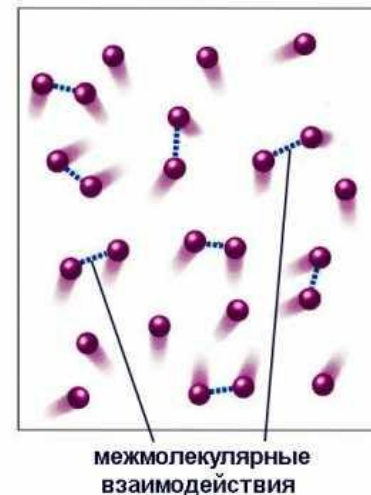
Реальные газы при больших разрежениях ведут себя подобно идеальному.

Состояние некоторой массы газа характеризуют **параметрами состояния**: объёмом V , давлением p , и абсолютной температурой T .

Идеальный газ



Реальный газ



Параметры состояния идеального газа

Объём газа V всегда совпадает с вместимостью сосуда, который он занимает, единица объёма – кубический метр, м^3 .

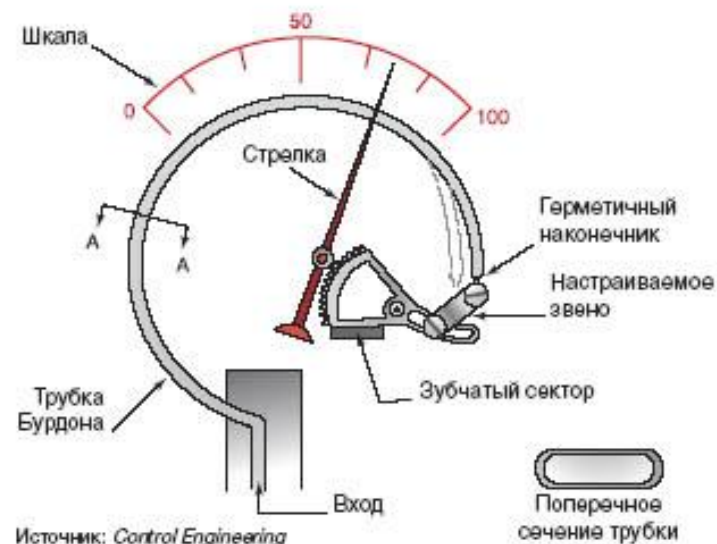
Давление p – физическая величина, равная отношению силы F , действующий на элемент поверхности нормально к ней, к площади S этого элемента, измеряется в паскалях (Па).

$$p = \frac{F}{S}$$

Внесистемные единицы:

техническая атмосфера 1 ат = $9,81 \cdot 10^4 \text{Па}$
физическая атмосфера 1 атм = $1,013 \cdot 10^5 \text{Па}$
миллиметр ртутного столба 1 мм рт. ст. = 133 Па

Традиционная конструкция механического манометра



Температура

Температура – физическая величина, характеризующая степень нагретости тела.

Состояние системы тел, при котором теплообмен между телами будет отсутствовать называют **тепловым равновесием**.

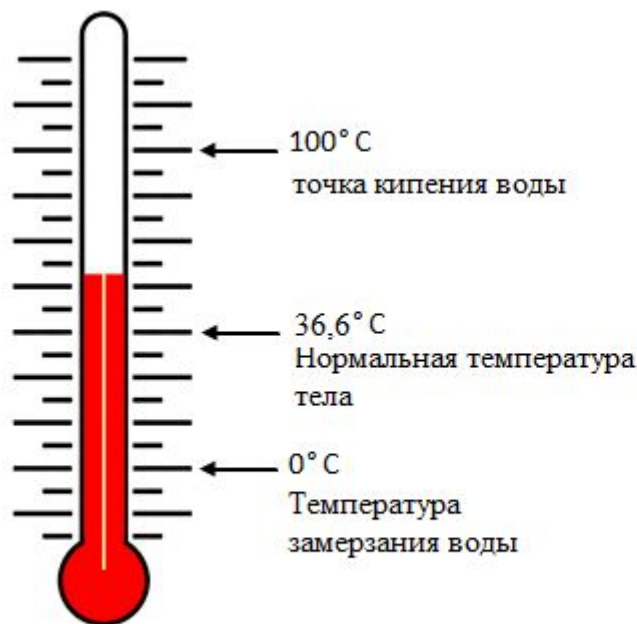
Тела, находящиеся в тепловом равновесии, имеют одинаковые температуры.

При изменении температуры изменяются размеры тел, их объёмы, электрическое сопротивление и другие свойства. Для однозначного определения температуры необходим выбор термометрического тела и температурного параметра.



Температурные шкалы

Прибор для измерения температуры называют **термометром**.



Шкала Цельсия



Шкала Фаренгейта

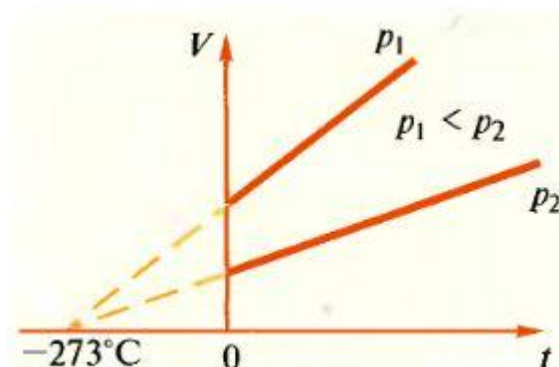
Эти шкалы не являются научно обоснованными.

Абсолютная шкала температур

Термодинамическая шкала температур была предложена английским учёным У. Кельвином.

За начало отсчета на этой шкале принята температура $0 \text{ K} = -273,16^\circ\text{C}$ (нуль Кельвина), самая низкая температура в природе, называемая **абсолютным нулём**.

За единицу температуры по термодинамической шкале принят кельвин (K). 1 K соответствует 1°C .



$$T = 273,16 + t$$

Задание 6

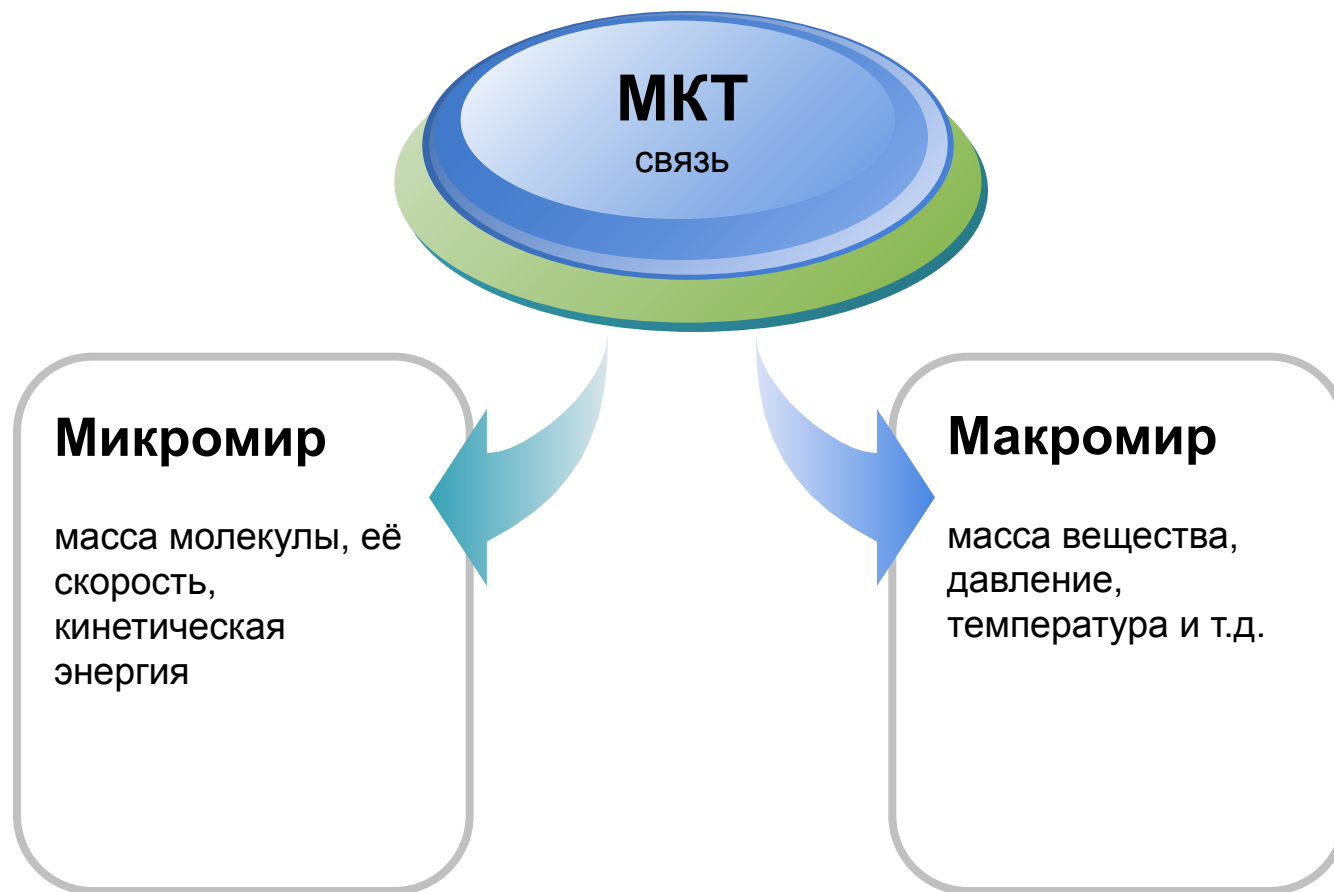
Переведите в абсолютную шкалу температур: 27°C , -97°C .

ОТММП

Тема 3. Основное уравнение МКТ

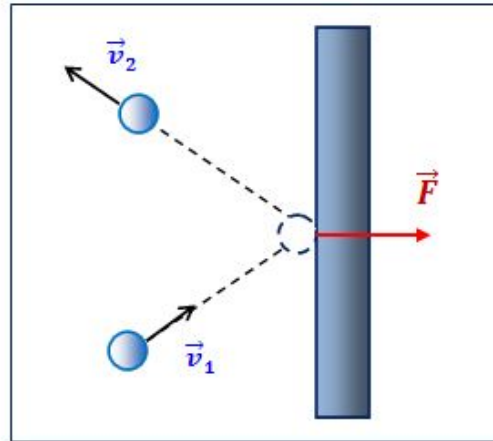
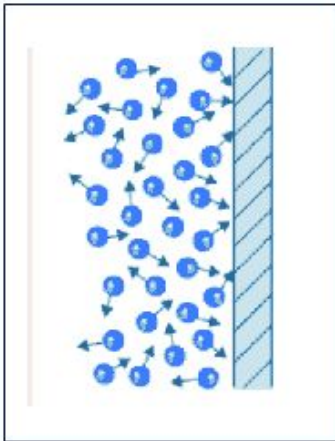


Основная задача МКТ



Основное уравнение МКТ

МКТ рассматривает давление газа на стенки сосуда, в котором он находится, как результат ударов молекул о его стенки.



$$p = \frac{1}{3} n m_0 \langle v_{\text{KB}} \rangle^2$$

Основное уравнение МКТ определяет макроскопическую величину – давление газа через концентрацию n молекул, массу m_0 отдельных молекул и среднюю квадратическую скорость их движения.

Следствие



Основное уравнение МКТ:

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \langle v_{\text{KB}} \rangle^2$$

Средняя кинетическая энергия
молекулы газа:

$$\langle E \rangle = \frac{1}{2} m_0 \langle v_{\text{KB}} \rangle^2$$


$$p = \frac{2}{3} n \langle E \rangle$$

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

Закрепление



Задание 7

Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул водорода равна $1,35 \cdot 10^{-20}$ Дж. Определите среднюю квадратичную скорость молекул водорода.

Задание 8

Каково давление углекислого газа, если в баллоне объёмом 40 л содержится $5 \cdot 10^{24}$ молекул, а средняя квадратичная скорость молекул 400 м/с?

ОТММП

Тема 4. Газовые законы



Изопроцессы



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

Состояние некоторой массы газа характеризуют **параметрами состояния**: объёмом V , давлением p , и абсолютной температурой T . Между параметрами состояния существует однозначное соответствие – **уравнение состояния**.

$$f(p, V, T) = 0$$

Уравнение состояния

Процесс, при котором один из параметров остается постоянным, называют **изопроцессом**.

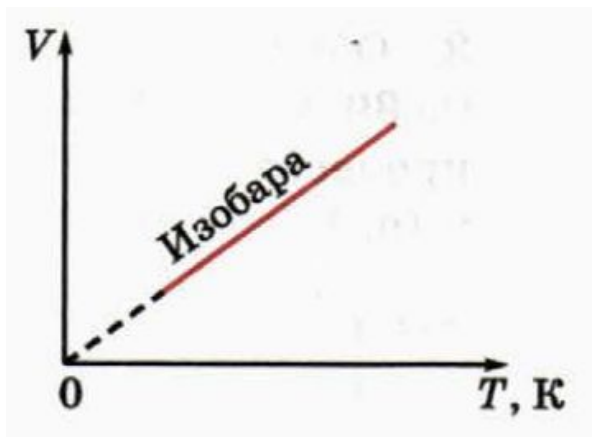
Изобарный процесс ($p = \text{const}$)

Закон Гей-Люссака: при **изобарном** процессе отношение объёма данной массы газа к его абсолютной температуре остаётся постоянным.

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

Для двух состояний:

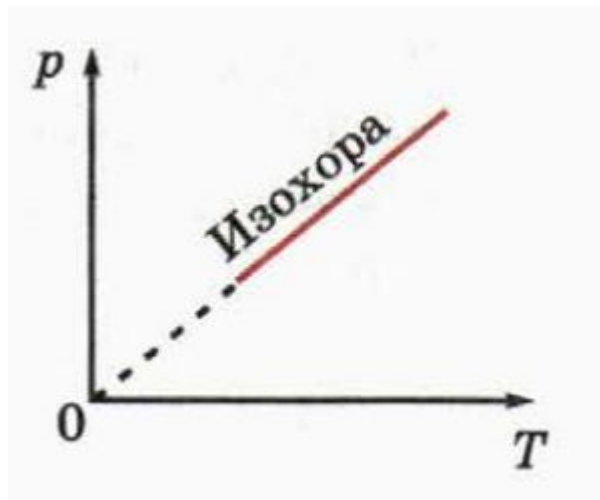
$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$



Изохорный процесс ($V = \text{const}$)

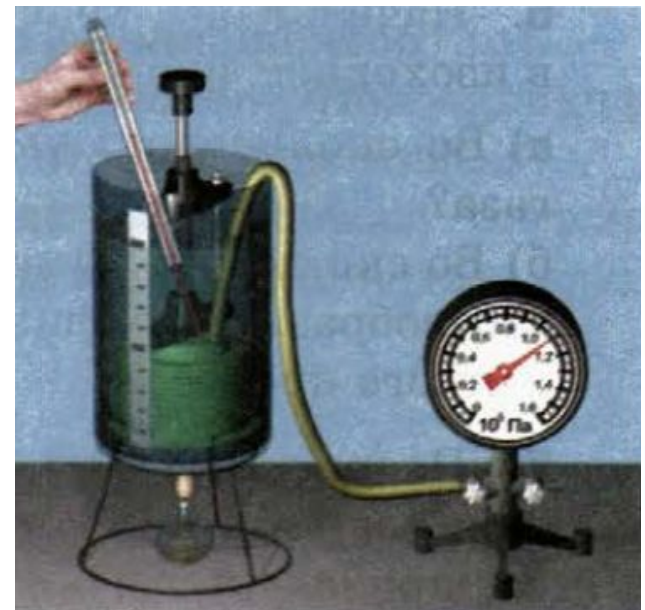
Закон Шарля: при **изохорном** процессе отношение давления данной массы газа к его абсолютной температуре остаётся постоянным.

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



Для двух состояний:

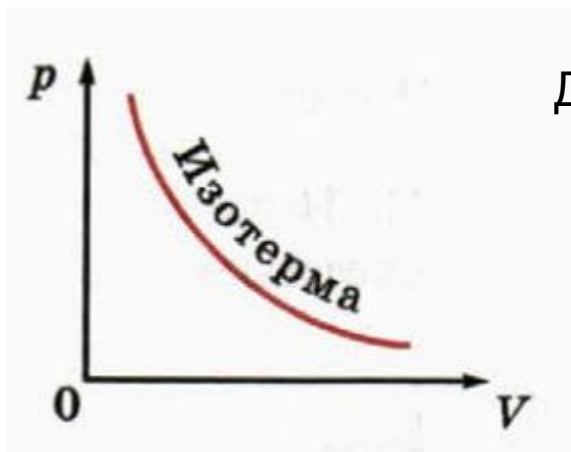
$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$



Изотермический процесс ($T = \text{const}$)

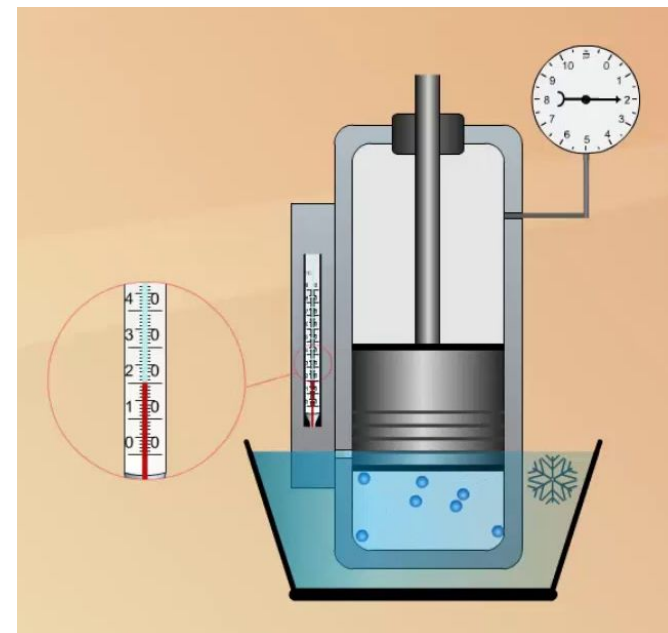
Закон Бойля - Мариотта: при изотермическом процессе произведение давления данной массы газа на объём остаётся постоянным.

$$pV = \text{const}$$



Для двух состояний:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$



Уравнение Клапейрона

На практике чаще всего встречаются случаи, когда одновременно изменяются все три параметра состояния. Можно показать, что в этом случае выполняется **уравнение Клапейрона**:

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

Произведение давления данной массы газа на его объём пропорционально термодинамической температуре.

Для двух состояний:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

Уравнение Менделеева-Клапейрона

В общем случае выполняется закон **Менделеева-Клапейрона**:

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

$R = 8,31$ Дж/(моль·К) - молярная газовая постоянная

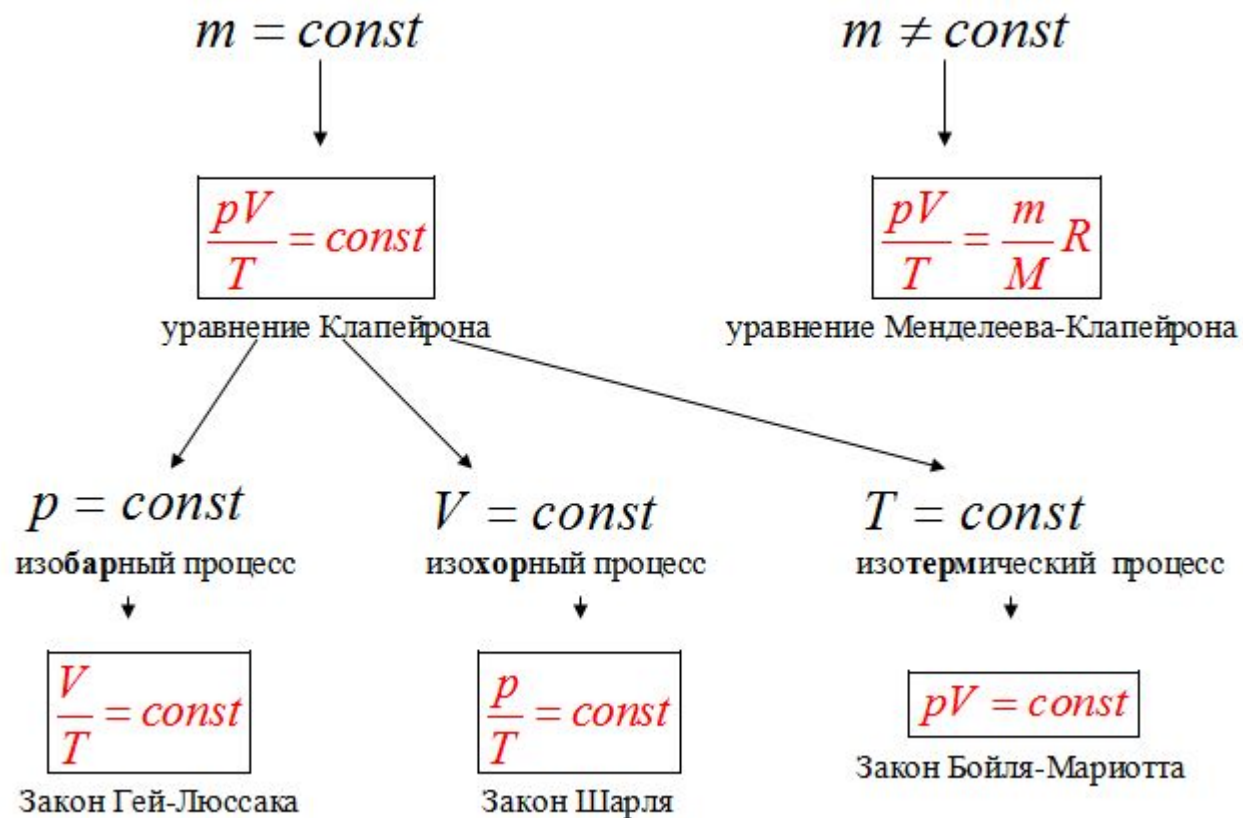
$$pV = \nu RT$$

$$R = k \cdot N_A$$

$$p = nkT$$

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

Связующая схема



Закрепление



Задание 9

Определить, есть ли трещины в баллоне, если при повышении температуры с 100 К до 300 К давление повысилось с 120 кПа до 340 кПа.

Задание 10

Каким должен быть наименьший объём V баллона, чтобы он вмещал $m = 6,4$ кг кислорода при температуре $t = 20^{\circ}\text{C}$, если его стенки выдерживают давление $p = 16$ МПа?

Задание 11

На сколько изменится масса воздуха в аудитории, если в результате неисправности отопительной системы температура в комнате понизится от 20 до 7°C ? Объём аудитории определите самостоятельно.

Средняя квадратичная скорость молекул

Из основного уравнения МКТ

$$p = \frac{2}{3} n \langle E \rangle$$

Из уравнения Менделеева - Клапейрона

$$p = nkT$$

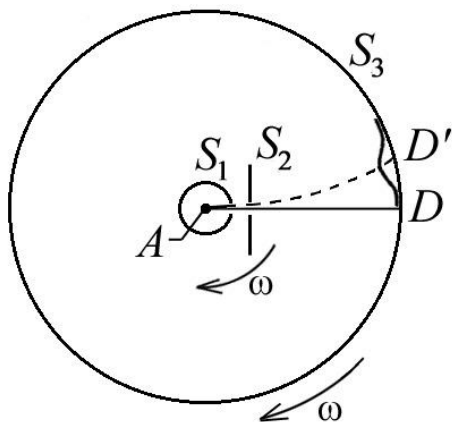
$$\langle E \rangle = \frac{3}{2} kT$$

$$\langle E \rangle = \frac{1}{2} m_0 \langle v_{\text{KB}} \rangle^2$$

$$\langle v_{\text{KB}} \rangle = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

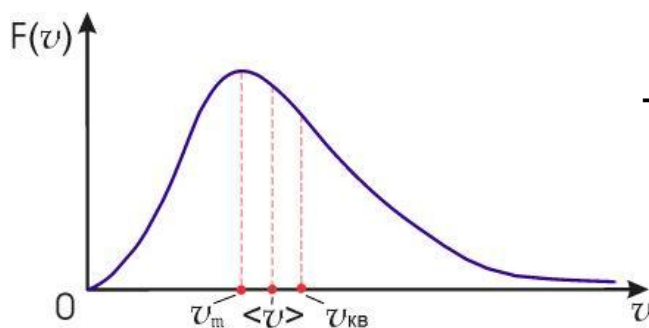
- средняя
квадратичная
скорость молекул

Скорости движения молекул



Метод определения скоростей молекул был предложен О. Штерном (1920). Средняя скорость атомов серебра в опыте оказалась равной 650 м/с.

Закон распределения скоростей молекул в газе был получен Дж. К. Максвеллом. Максимум кривой распределения соответствует наиболее вероятной скорости.



С повышением температуры наиболее вероятная скорость возрастает.

Закрепление



Задание 12

Определите температуру воздуха в аудитории. С какой средней квадратичной скоростью движутся молекулы кислорода и азота, входящие в его состав?

Задание 13

Какова концентрация молекул в воздухе при нормальных условиях?

Задание 14

Идеальный газ сначала изобарно расширили, а затем изотермически сжали до прежнего объёма. Изобразите эти процессы в координатах p - V , p - T , V - T .