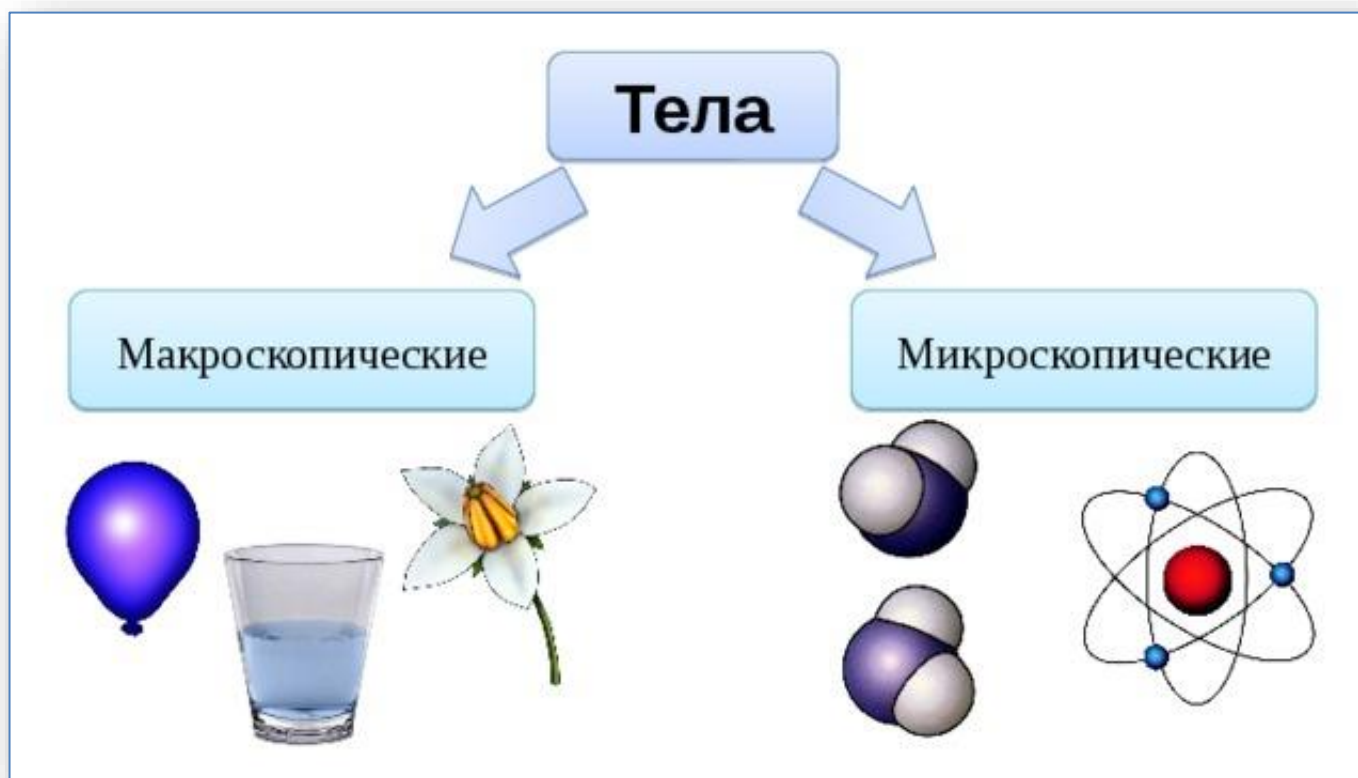


МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Преподаватель. Красин И.Г.

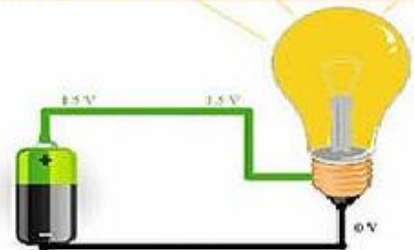


Что изучает физика?

• Механические явления



• Электрические явления



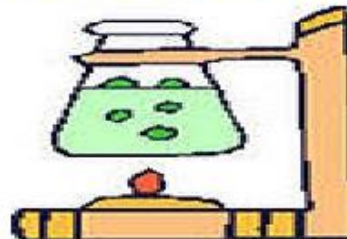
• Акустические явления



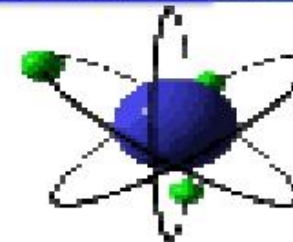
• Магнитные явления



• Тепловые явления



• Атомные явления

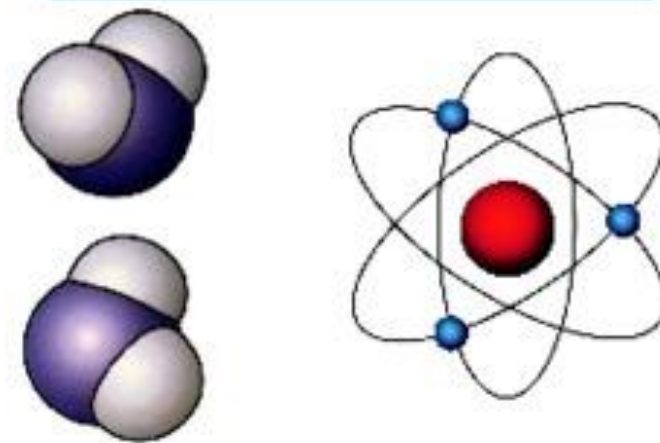


Тела

Макроскопические



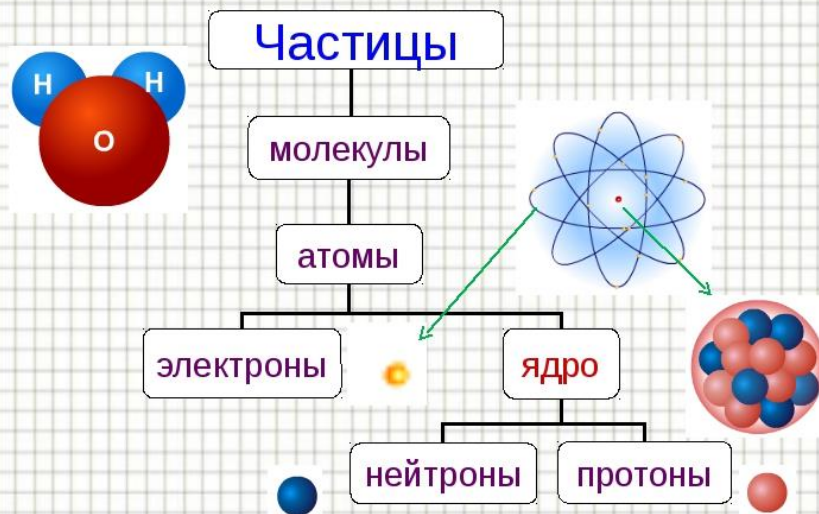
Микроскопические



Мы живем в мире макроскопических тел

Молекула — наименьшая устойчивая частица данного вещества, обладающая его основными химическими свойствами.

Атом — наименьшая частица данного химического элемента.



Макроскопические тела
– тела, состоящие из
огромного числа
молекул.

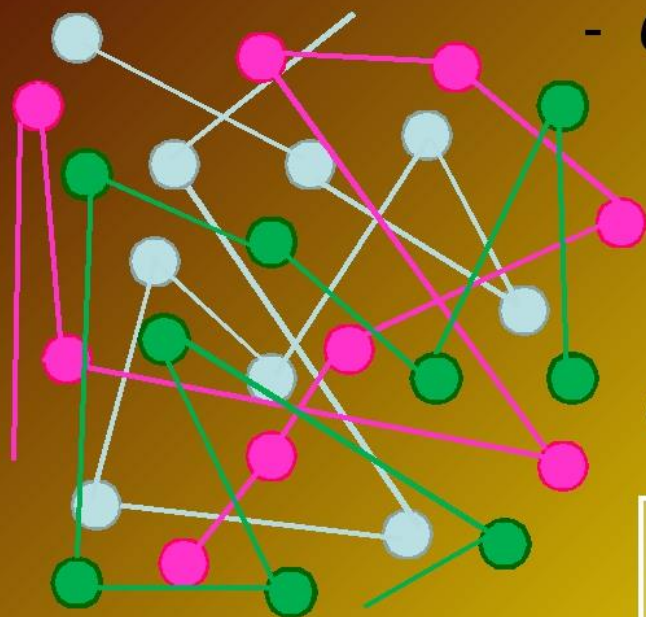
**Механика изучает
движение тел, но она не в
состоянии объяснить,
почему существуют
твердые, жидкие и
газообразные тела и
почему эти тела могут
переходить из одного
состояния в другое.**

Исследование внутренних свойств тел не входит в задачу механики.

ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Явления, связанные с нагреванием или охлаждением тел, с изменением их температуры, называются тепловыми.

Тепловое движение



- беспорядочное
(хаотичное)
движение
частиц,
из которых
состоят тела

↑
участвуют
все молекулы тела

06.09.2015

Е. В. Бачева

НЧОУ СОШ "Разум-Л"

Тепловое движение молекул.

Все тела состоят из атомов и молекул. Тепловые явления происходят внутри тел и всецело определяются движением этих частиц. Беспорядочное движение молекул называют тепловым движением.



МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ

дает объяснение свойств
макроскопических тел и
тепловых процессов

Основы молекулярно-кинетической теории

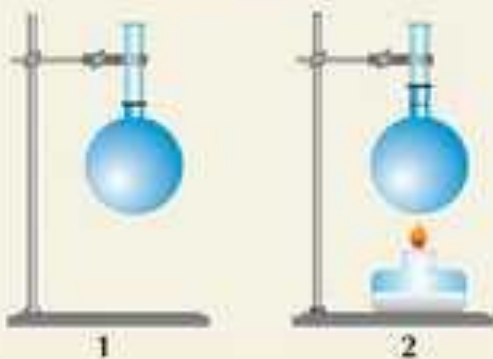
- В основе молекулярно-кинетической теории лежат три постулата. Из этих постулатов выводятся все свойства веществ
1. Все тела состоят из молекул
 2. Молекулы постоянно хаотически движутся
 3. Молекулы взаимодействуют между собой посредством электромагнитных сил

Все вещества состоят из частиц (молекул и/или атомов) $r \approx 10^{-10}$ м

СЖИМАЕМОСТЬ



РАСШИРЕНИЕ ПРИ НАГРЕВАНИИ

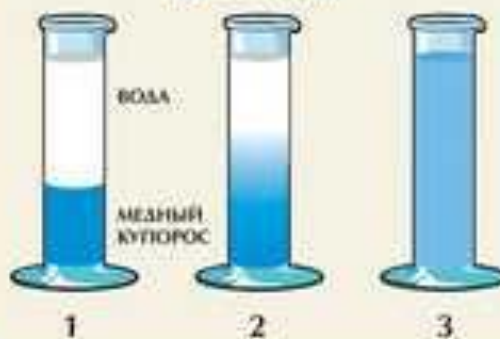


Частицы непрерывно и беспорядочно движутся

БРОУНОВСКОЕ ДВИЖЕНИЕ



ДИФФУЗИЯ



Между частицами действуют силы притяжения и отталкивания

СОХРАНЕНИЕ

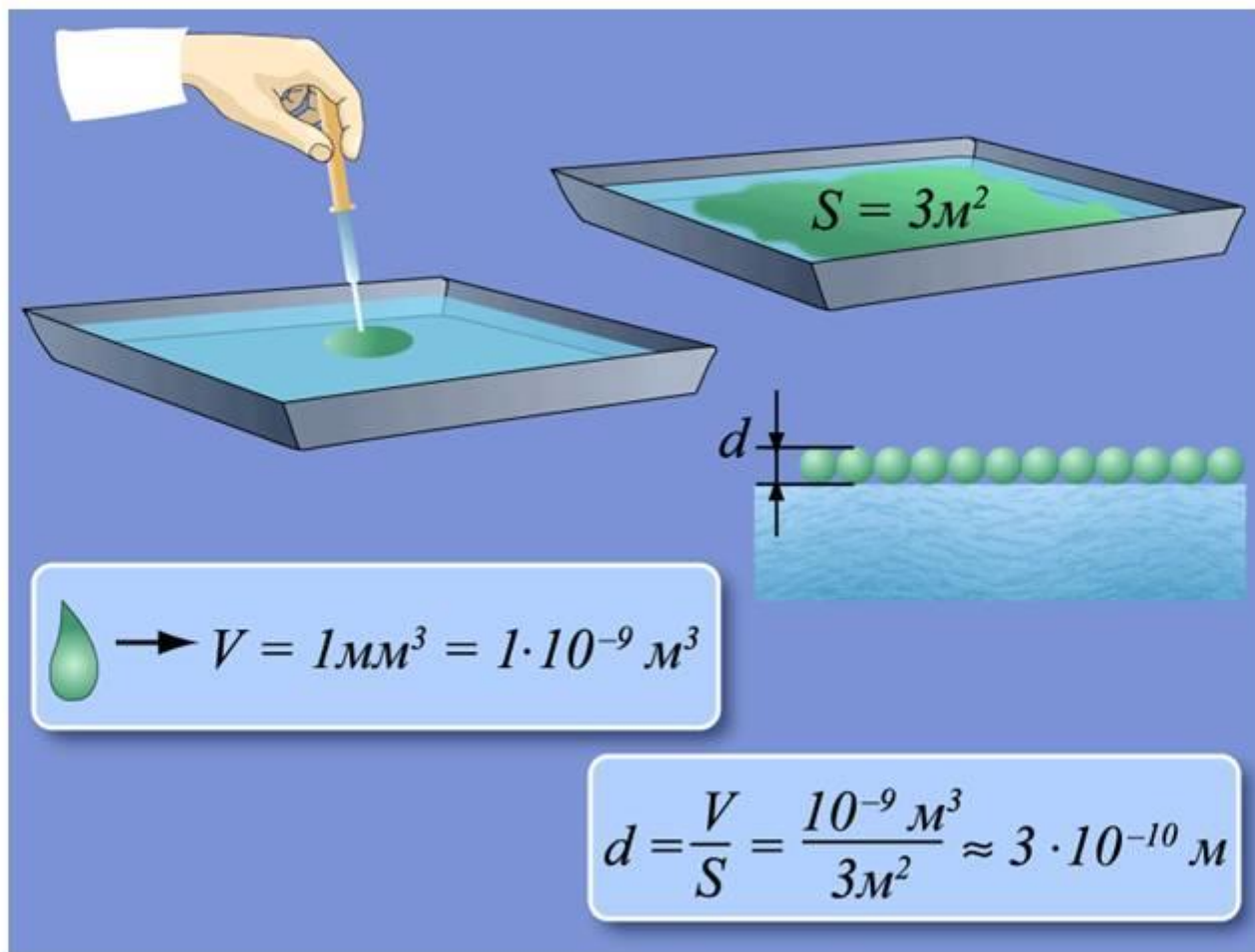
формы $\leftarrow$ $\rightarrow$ объема



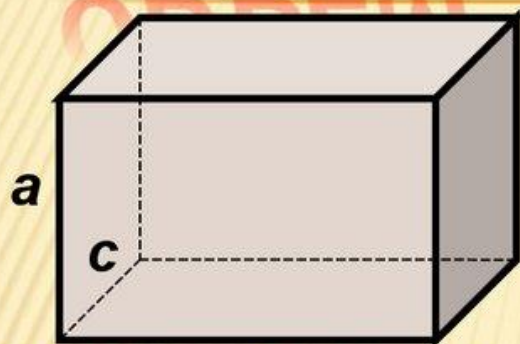
СМАЧИВАНИЕ



ОЦЕНКА РАЗМЕРОВ МОЛЕКУЛ

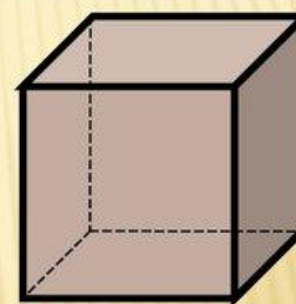


ОБЪЕМ



**Прямоугольный
параллелепипед**
 $V = a b c$

**Вершины,
ребра,
границы**



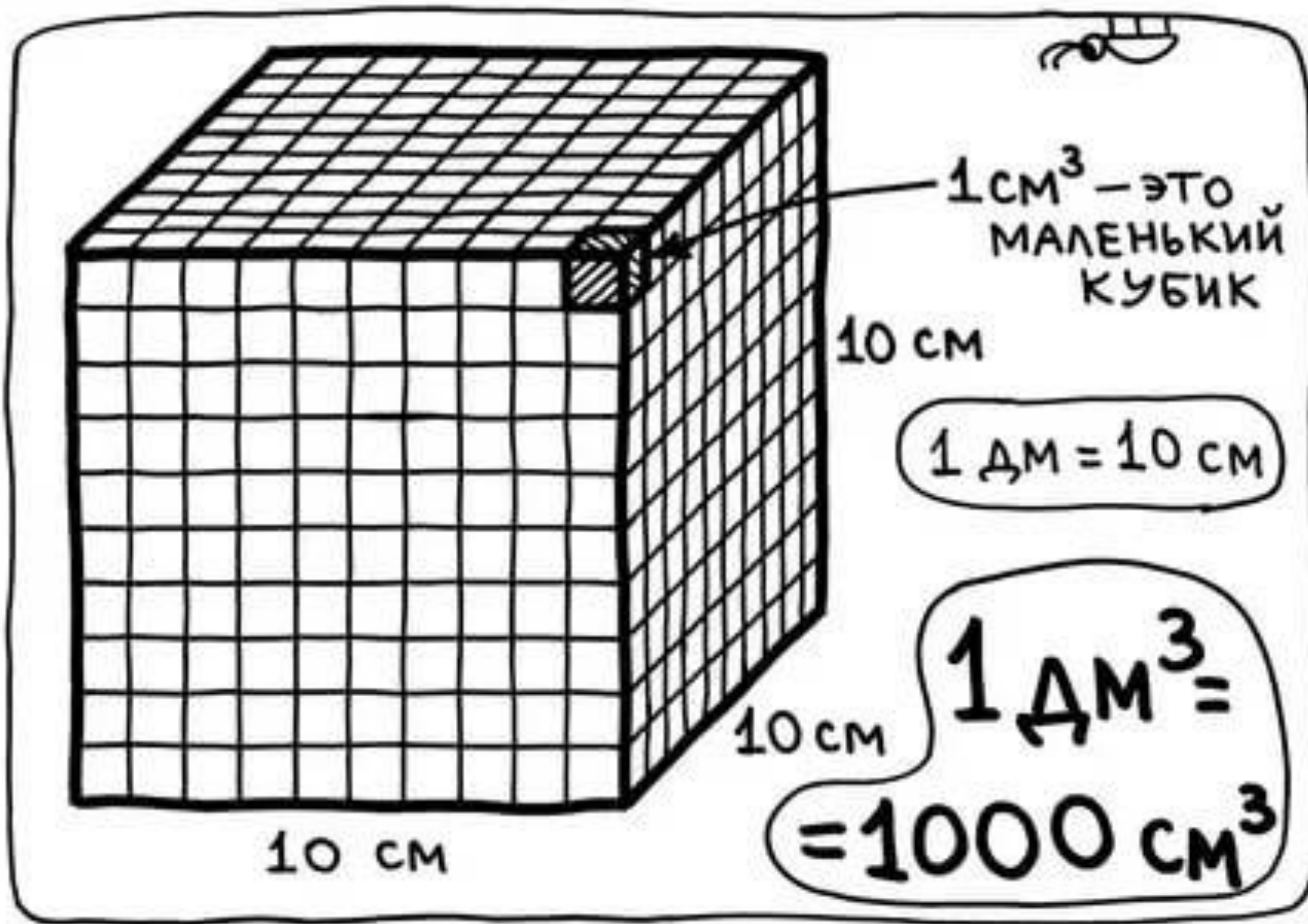
Куб
 $V = a^3$

$$1 \text{ мм}^3$$

$$1 \text{ см}^3 = 1\,000 \text{ мм}^3$$

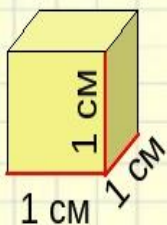
$$1 \text{ дм}^3 = 1 \text{ л} = 1\,000 \text{ см}^3$$

$$1 \text{ м}^3 = 1\,000 \text{ дм}^3 = 1\,000\,000 \text{ см}^3$$

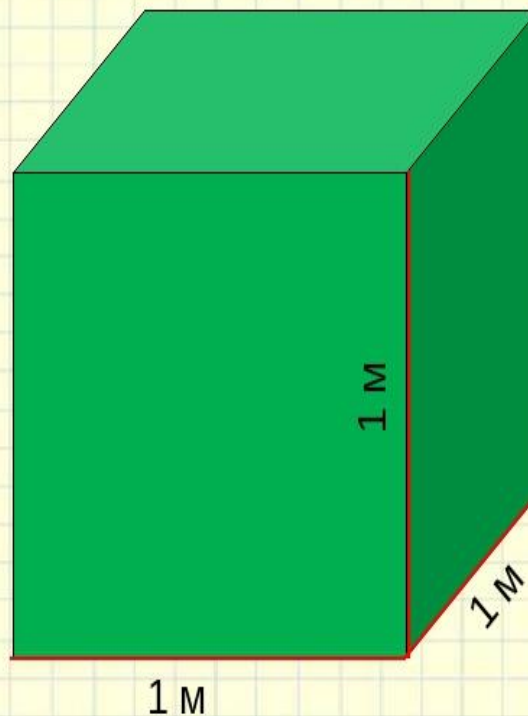


Единицы объёма

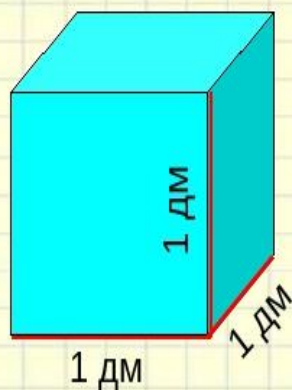
Кубический сантиметр: 1 см^3



Кубический метр: 1 м^3



Кубический дециметр: 1 дм^3

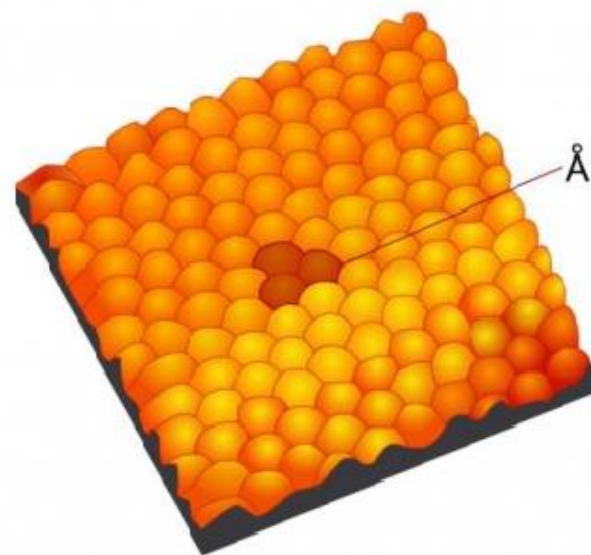


КАКОВЫ РАЗМЕРЫ МОЛЕКУЛ?

С помощью электронного микроскопа можно увидеть отдельные молекулы и атомы и определить их размеры.

$d_{\text{молекулы}} = 10^{-7}$ см

$d_{\text{атома}} = 10^{-8}$ см



Молекулы золота на снимке, сделанном при помощи электронного микроскопа

Оценим размеры молекул.

Запомните:

$$d_{\text{молекулы}} \approx 10^{-10} \text{ м}$$

Так, по оценкам ученых,

$$d_{\text{H}_2\text{O}} \approx 3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$$

Тогда **объем молекулы воды**

$$V_{\text{H}_2\text{O}} \approx (3 \cdot 10^{-10})^3 \text{ м}^3$$

Число молекул в капле воды объемом 1 см^3

$$N = \frac{1 \text{ см}^3}{(3 \cdot 10^{-10})^3 \text{ м}^3} \approx 3,7 \cdot 10^{22} \text{ молекул}$$

Масса и размеры молекул

В 1 г воды содержится $3,7 \cdot 10^{22}$ молекул.

$$m_{0(\text{воды})} = \frac{1 \text{ г}}{3,7 \cdot 10^{22}} = 2,7 \cdot 10^{-23} \text{ г}$$

Массы молекул в макроскопических масштабах чрезвычайно малы.



1. Относительная молекулярная масса

Относительной молекулярной (или атомной) массой вещества M_r называют отношение массы молекулы (или атома) m_o данного вещества к 1/12 массы атома углерода m_{oc} :

$$M_r = \frac{m_o}{\frac{1}{12} m_{oc}}$$

Относительные молекулярные массы определяют по таблице Менделеева.

Например:

$$M_r(CO_2) = 12 + 2 \cdot 16 = 44$$

$$M_r(H_2O) = 2 \cdot 1 + 16 = 18$$



Количество вещества

Количество вещества наиболее естественно было бы измерять числом молекул или атомов в теле. Но число частиц в любом макроскопическом теле так велико, что в расчетах используют не абсолютное число частиц, а относительное.

$$[\nu] = \text{моль}$$

Один моль – это количество вещества, в котором содержится столько же молекул или атомов, сколько содержится в углероде массой 12 г.





Амедео Авогадро
Итальянский физик и
ХИМИК

9 августа 1776 г. – 9 июля 1856 г

Постоянная Авогадро

Число частиц в одном моле вещества называется *постоянной Авогадро* N_A .

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{МОЛЬ}}$$

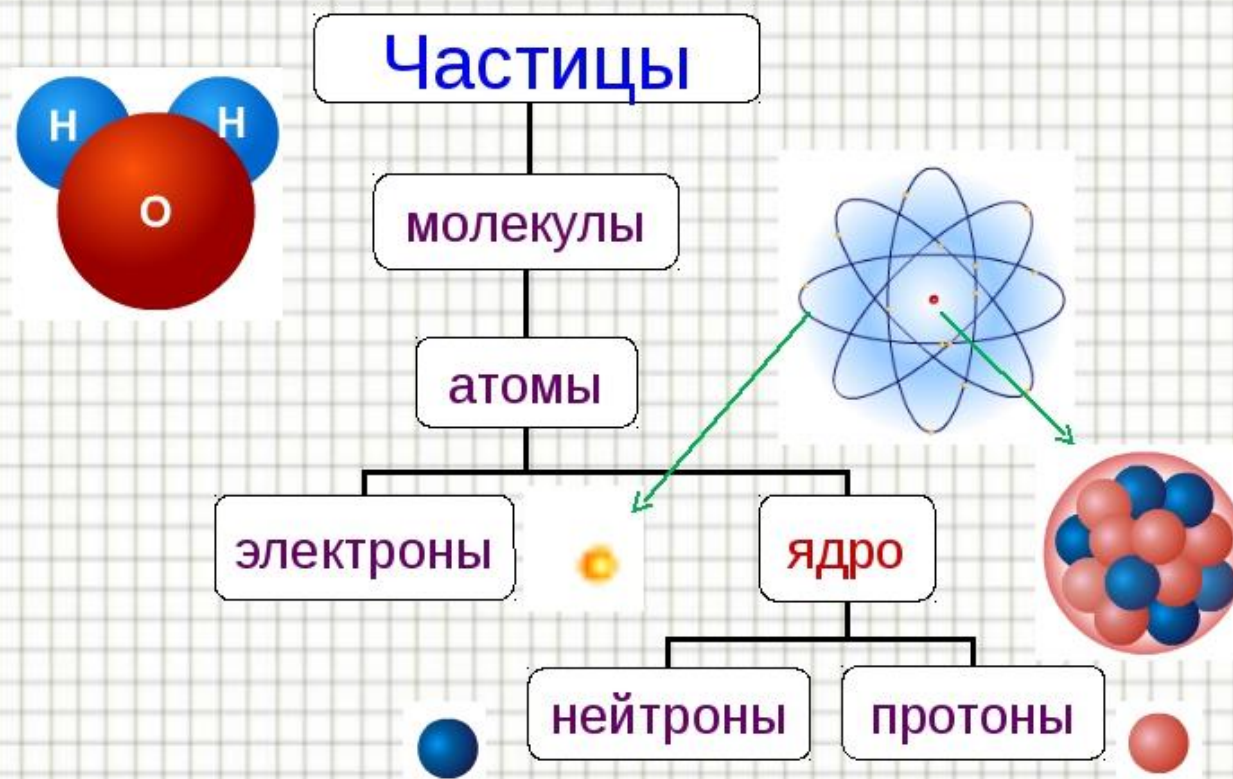
Физический смысл постоянной Авогадро: число Авогадро показывает, что в одном моле любого вещества содержится $6,02 \cdot 10^{23}$ молекул.

Закон Авогадро: в равных объёмах разных газов при одинаковых условиях всегда содержится одинаковое количество молекул.

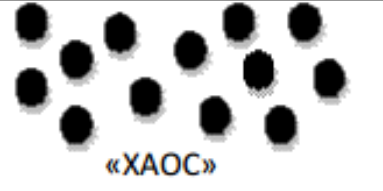
Более точное значение постоянной Авогадро: $6,02214084(18) \cdot 10^{23}$

Молекула — наименьшая устойчивая частица данного вещества, обладающая его основными химическими свойствами.

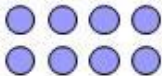
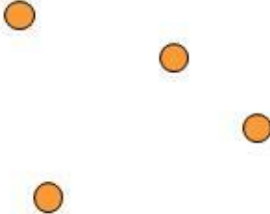
Атом — наименьшая частица данного химического элемента.

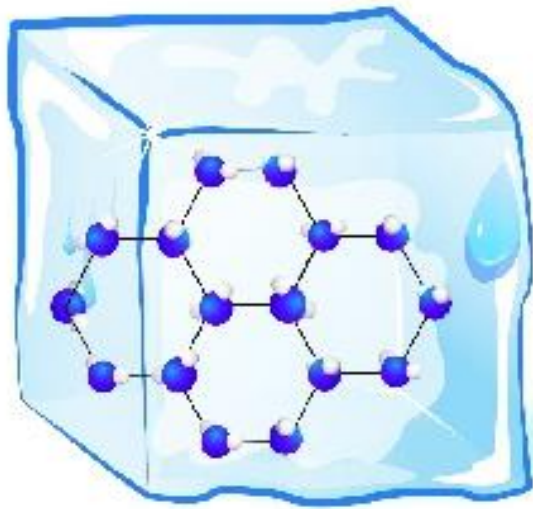


Строение твердых тел, жидкостей и газов

Критерии сравнения	<i>Газ</i>	<i>Жидкость</i>	<i>Твердое тело</i>
Расположение молекул	 «ХАОС»	 «ХАОС»	 «ПОРЯДОК»
Характер движения молекул	<i>Двигаются свободно по всему объему</i>	<i>Колеблются на месте, перескакивают с места на место</i>	<i>Колеблются на месте</i>
Взаимодействие молекул	<i>Слабое</i>	<i>Сильное</i>	<i>Огромное</i>
Основные свойства	1. Не имеет формы 2. Не сохраняет объем 3. Сжимаем	1. Не имеет формы 2. Сохраняет объём 3. Не сжимаема 4. Текуча	1. Сохраняет форму 2. Сохраняет объем 3. Не сжимаемо

Строение вещества

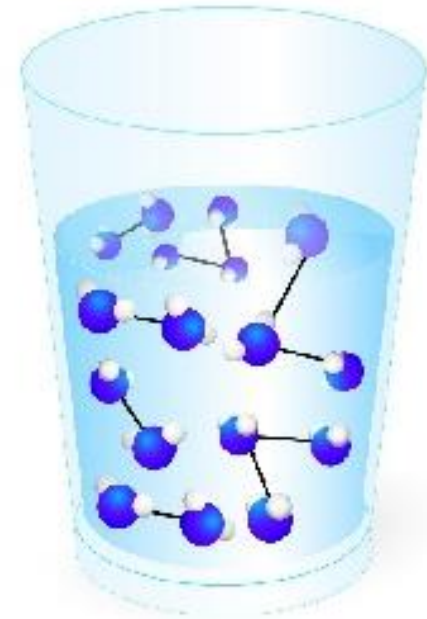
Состояние вещества	Расположение молекул	Движение молекул	Расстояние между молекулами
Твёрдое	В определённом порядке 	Колебания около определённой точки 	Меньше размеров молекул 
Жидкое	беспорядочно 	передвижение 	Меньше размеров молекул 
Газообразное	беспорядочно 	передвижение 	Больше размеров молекул 



0 °C



100 °C



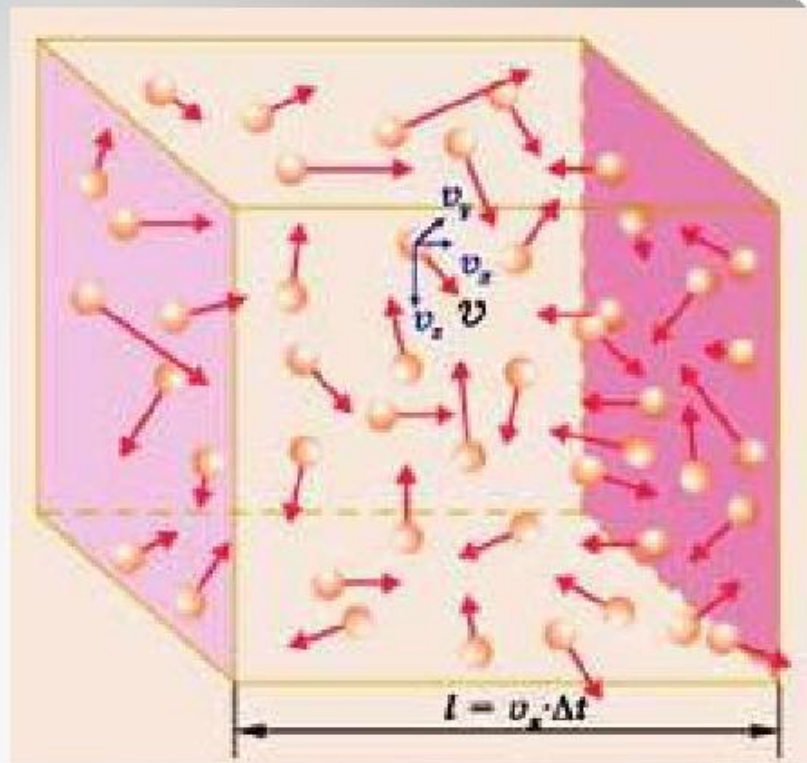
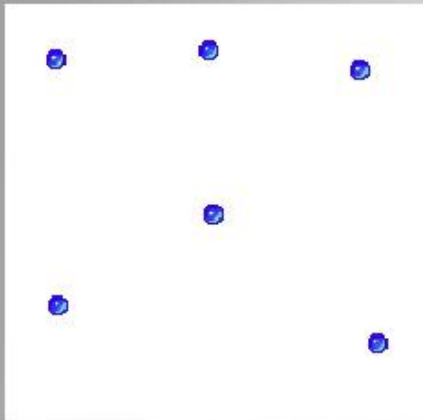
Идеальный газ (модель)

1. Совокупность большого числа молекул массой m_0 , размерами молекул пренебрегают (принимают молекулы за материальные точки).
2. Молекулы находятся на больших расстояниях друг от друга и движутся хаотически.
3. Молекулы взаимодействуют по законам упругих столкновений, силами притяжения между молекулами пренебрегают.
4. Скорости молекул разнообразны, но при определенной температуре средняя скорость молекул остается постоянной.

Реальный газ

1. Молекулы реального газа не являются точечными образованиями, диаметры молекул лишь в десятки раз меньше расстояний между молекулами.
2. Молекулы не взаимодействуют по законам упругих столкновений.

ДАВЛЕНИЕ ГАЗА



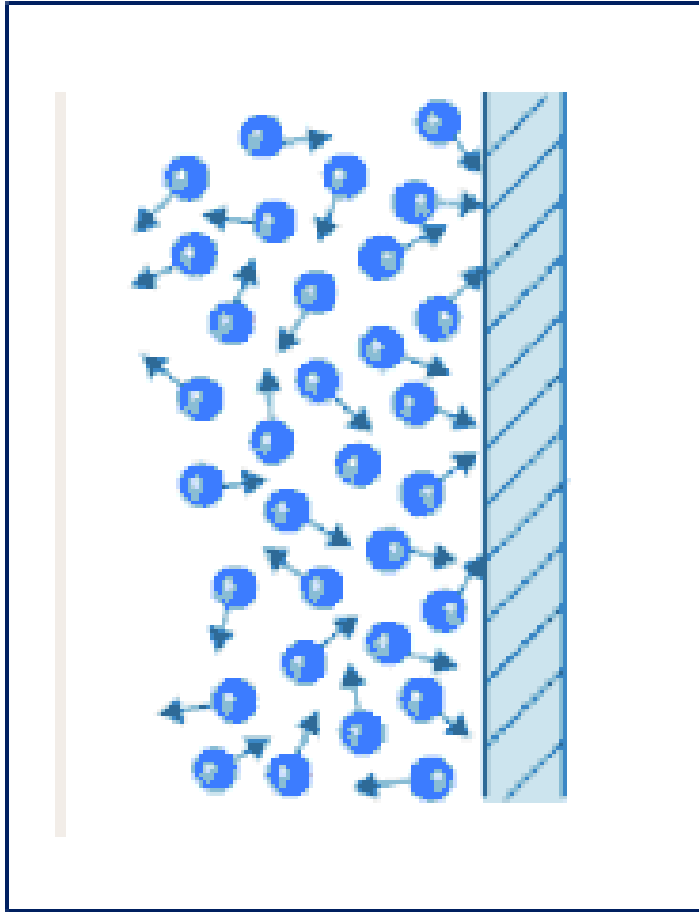
- **Давление газа** на дно и стенки сосуда (и на помещенное в газ тело) создается **ударами беспорядочно движущихся молекул газа**.

Как газы и жидкости передают давление?

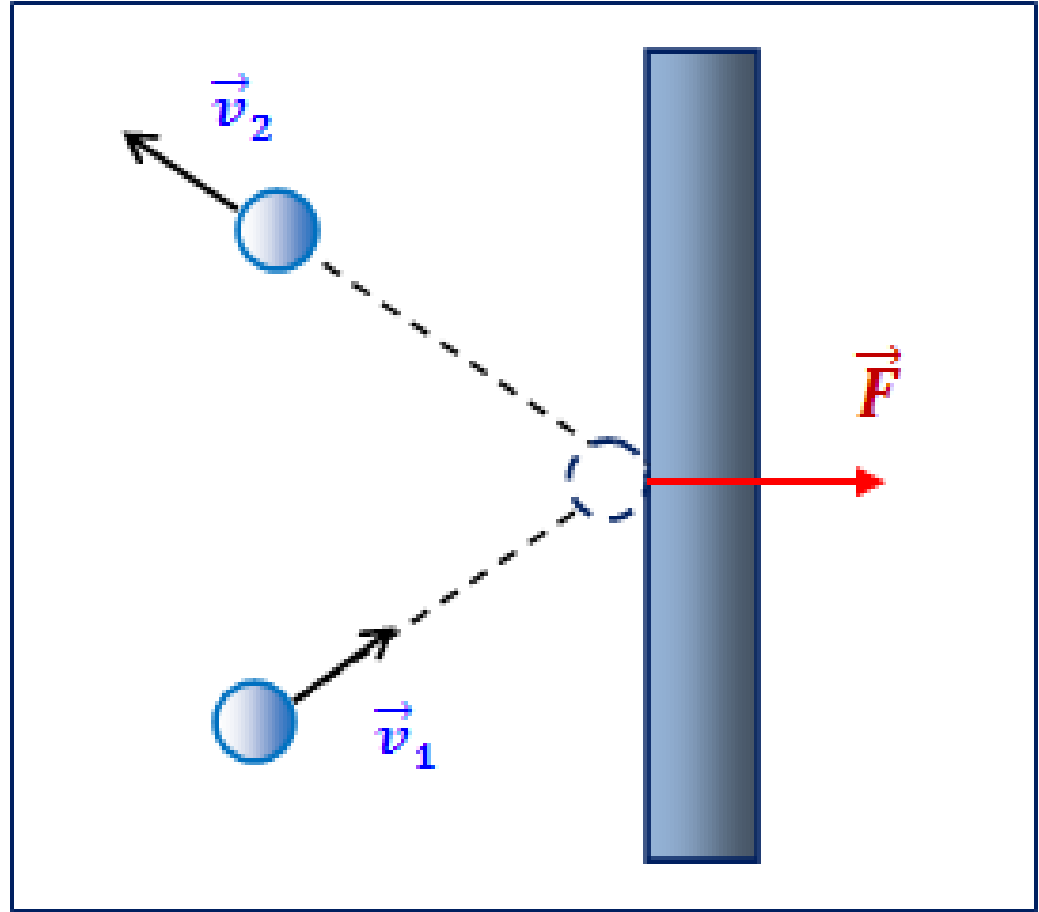


Закон Паскаля

Жидкости и газы передают
давление по всем направлениям
одинаково.



a)



b)

Основное уравнение МКТ идеального газа

Масса
молекулы [кг]

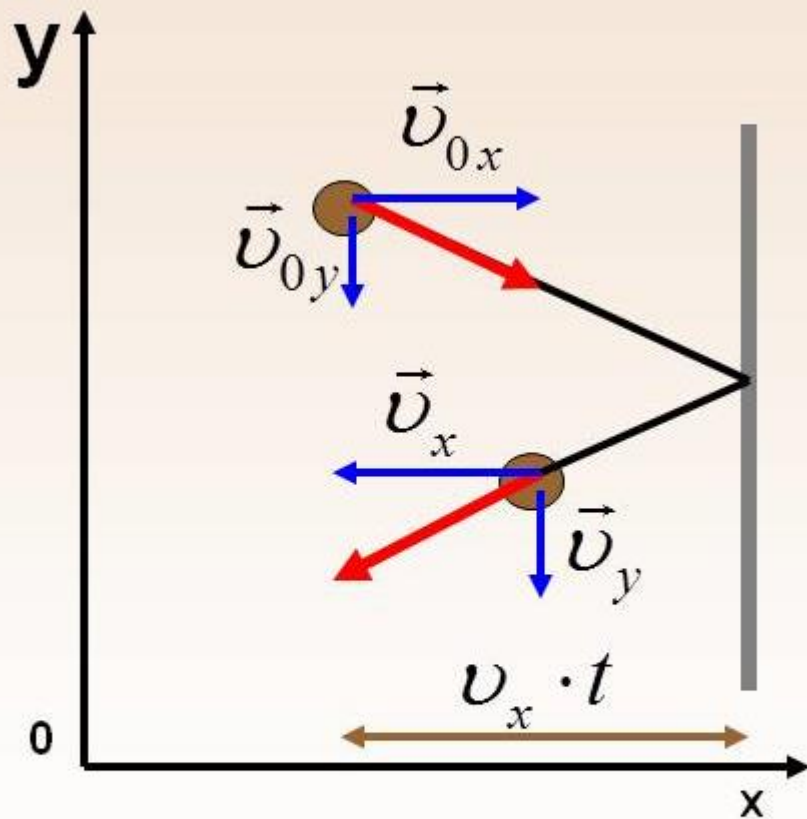
Скорость движения
молекул [м/с]

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

Давление
газа [Па]

Концентрация
молекул [м]³





$$\Delta P_{x0} = 2m_0 v_x$$

$$N = \frac{1}{2} n V, \quad V = S v_x t$$

$$F_x = \Delta P_x t = N \cdot \Delta P_{0x} t$$

$$F_x = m_0 n v_x^2 S$$

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



Следствия из основного уравнения МКТ

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



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

Средняя кинетическая энергия молекулы зависит только от температуры, поэтому температура является мерой средней кинетической энергии молекул

ПАРАМЕТРЫ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

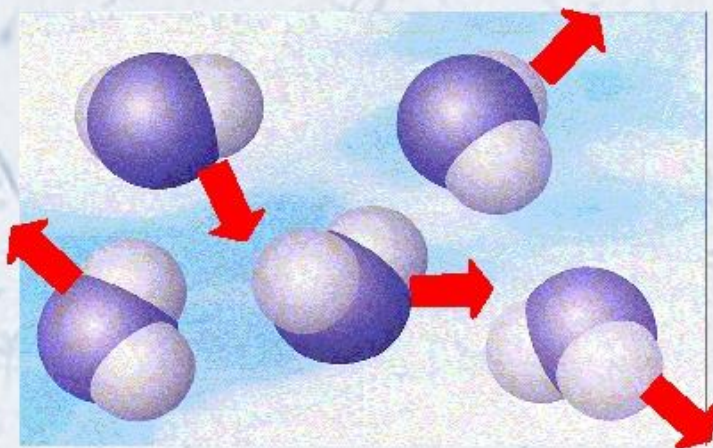
Макроскопические параметры	Микроскопические параметры
<i>Масса системы</i>	<i>Масса частицы</i>
<i>Объем системы</i>	<i>Объем частиц</i>
<i>Температура системы</i>	<i>Концентрация частиц</i>
<i>Количество вещества в системе</i>	<i>Количество частиц</i>
<i>Давление системы на внешние тела</i>	<i>Скорость частиц</i>
<i>Внутренняя энергия системы</i>	<i>Энергия частицы</i>

Макроскопические параметры состояния газа – физические величины, характеризующие состояние макроскопических тел в целом, без учета их молекулярного строения



Температура – мера средней кинетической энергии теплового движения молекул

Температура – это физическая величина, которая характеризует тепловое состояние тела.



Обозначение – t

***Температура тела
зависит от скорости
движения молекул.***

Измерение температуры

*Шкала
Цельсия*

$$t = T - 273 = \frac{5}{9} (T_F - 32)$$

*Термодинами-
ческая шкала*

$$T = t + 273$$

*Шкала
Фаренгейта*

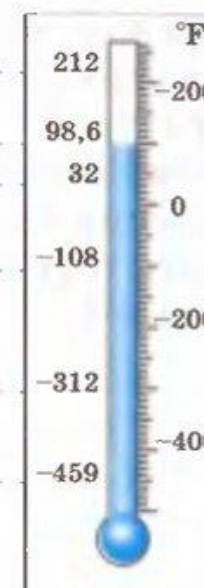
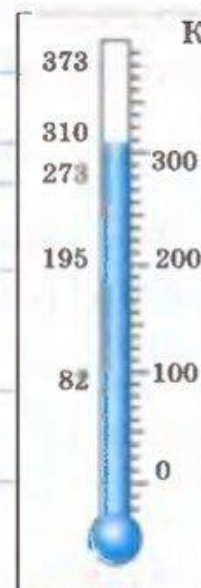
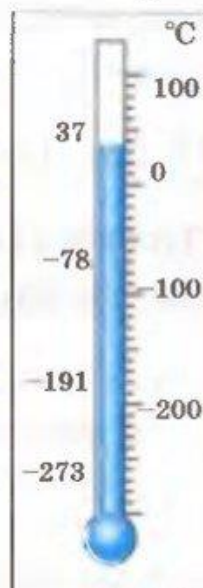
$$T_F = 32 + 1,8t$$

кипение воды
температура
тела человека
плавление льда

сухой лед (CO₂)

жидкий воздух

абсолютный нуль



Шкала Реомюра: Франция, Россия(до революции)

Шкала Фаренгейта: Англия, США

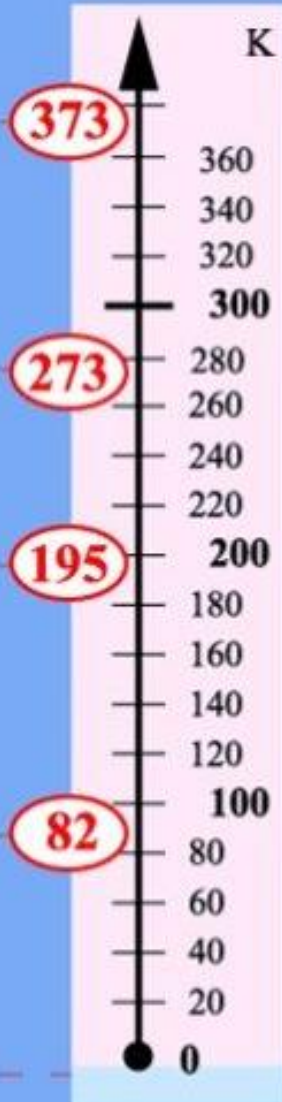
Шкала Цельсия

$$t = T - 273$$



Термодинамическая шкала

$$T = t + 273$$



кипение воды



плавление льда



сухой лед (CO_2)

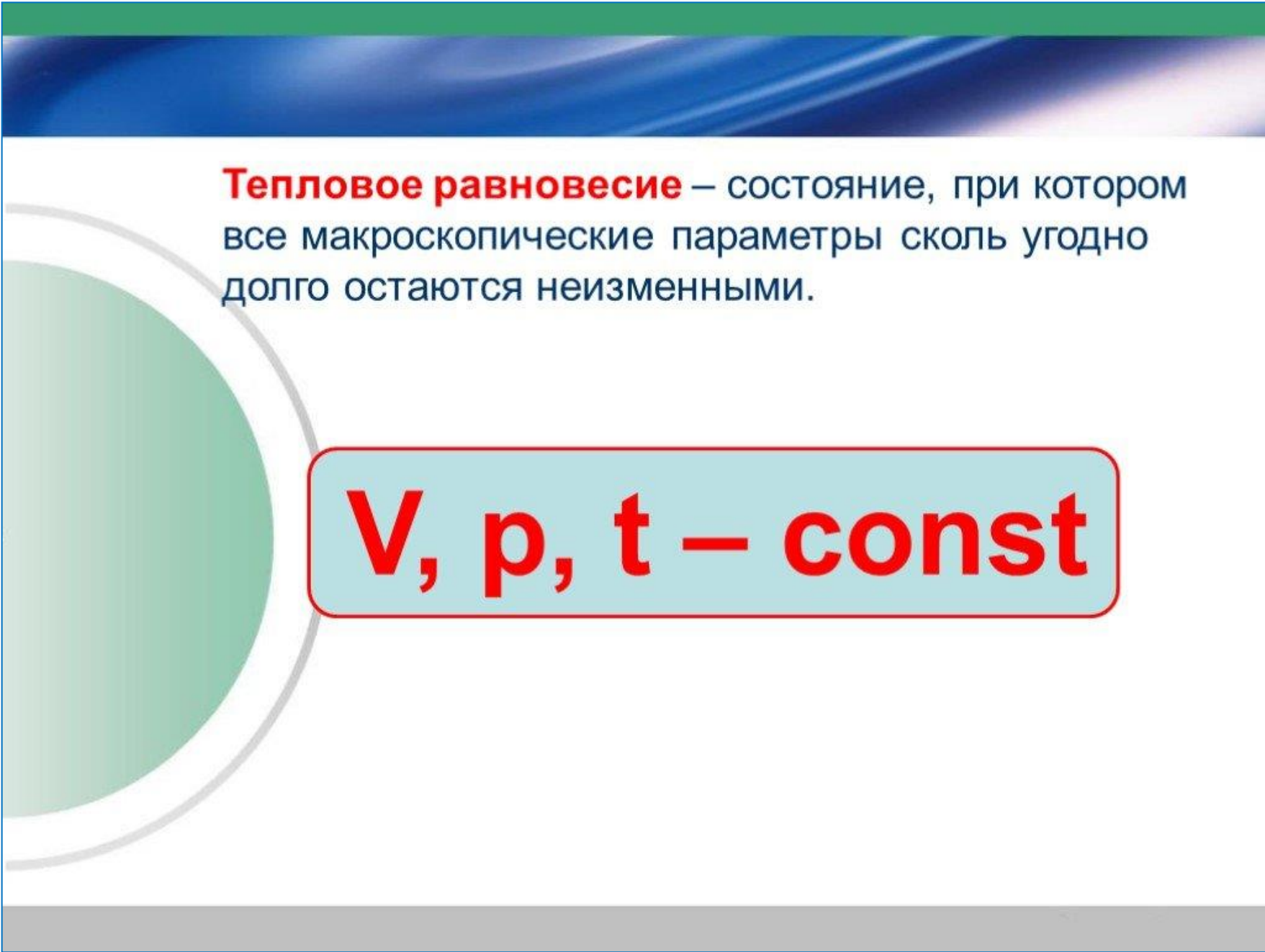


жидкий воздух



абсолютный ноль





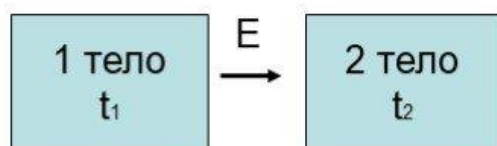
Тепловое равновесие – состояние, при котором все макроскопические параметры сколь угодно долго остаются неизменными.

$V, p, t - \text{const}$



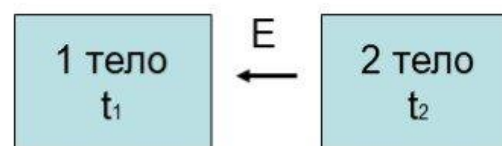
Все тела, находящиеся друг с другом в тепловом равновесии, имеют одну и ту же температуру.

$$t_1 > t_2$$



теплообмен

$$t_1 < t_2$$



теплообмен

$$t_1 = t_2$$



тепловое равновесие



Создатели шкалы "Цельсия"



**Андрес
Цельсий**
(1701- 1744)
- шведский
ученый ,
астроном и
физик.

А. Цельсий

Описал
стоградусную
шкалу
термометра, в
которой
температура
кипения воды
при нормальном
атмосферном
давлении была
принята за 0° , а
температура
таяния льда - за
 100° . Позже
шведский
биолог **К. Линней**
«перевернул»
эту шкалу,



Карл Линей
(1707- 1778) -
шведский
естествоиспытатель,
натуралист, ботаник,
врач,
основоположник
современной
биологической
систематики,
создатель системы
растительного и

$$\frac{pV}{N} = \frac{2}{3} \bar{E}$$

$$\Rightarrow$$

$$\frac{pV}{N} = kT$$

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

Средняя кинетическая энергия хаотичного поступательного движения молекул газа пропорциональна абсолютной температуре

$$\frac{pV}{N} = kT$$

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

$$p = nkT$$

Закон Авогадро

В равных объемах газа при одинаковых температурах и давлениях содержится одинаковое число молекул

Молекулярно-кинетический смысл температуры

Перепишем уравнение состояния идеального газа так, чтобы была видна зависимость давления от концентрации молекул.

m_0 – масса одной молекулы газа; N – общее количество молекул;
 N_A – число молекул в 1 моле (число Авогадро).

$$pV = \frac{m}{M}RT; \quad pV = \frac{m_0 N}{m_0 N_A}RT; \quad p = \frac{N}{V} \frac{R}{N_A}T;$$

Вспоминая, что $\frac{N}{V} = n$ (концентрация молекул)
и обозначая $\frac{R}{N_A} = k$ (постоянная Больцмана; $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К),

окончательно получаем $P = nkT$.

Постоянная Больцмана



$$\theta = kT$$

Постоянная Больцмана связывает температуру θ в энергетических единицах с температурой T в кельвинах.

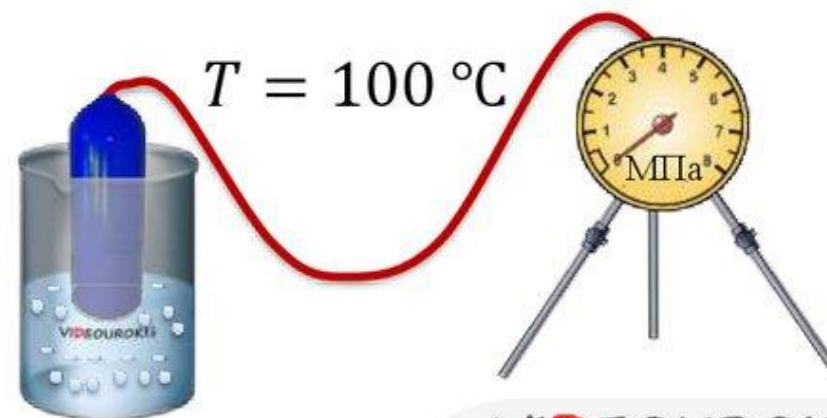
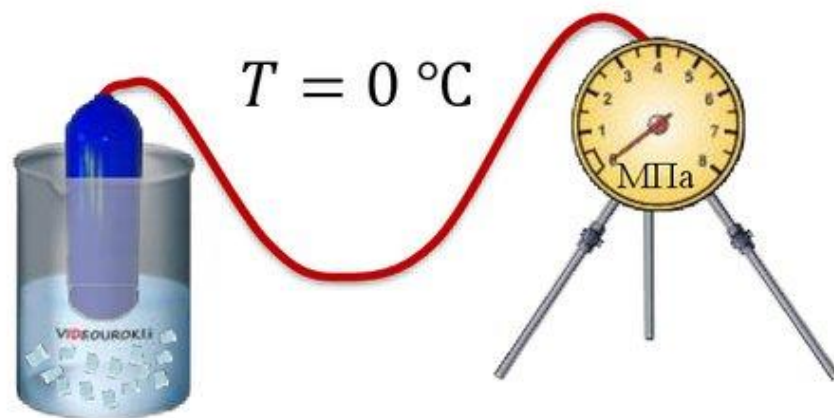
$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$$

Постоянная Больцмана

$$\Theta = \frac{PV}{N}$$

$$\Theta_{100} - \Theta_0 = k(T_{100} - T_0)$$

$$k = \frac{\Theta_{100} - \Theta_0}{T_{100} - T_0}$$



VIDEOUROKI.NET

Закон Авогадро (1811 г):



**Амедео Авогадро
(1776 – 1856)**

**В равных объёмах
различных газов при
одинаковых условиях
содержится одинаковое
число молекул.**

 He	 H₂	 CO₂
$6,02 \cdot 10^{23}$ молекул 1 моль 22,4 л 4 г	$6,02 \cdot 10^{23}$ молекул 1 моль 22,4 л 2 г	$6,02 \cdot 10^{23}$ молекул 1 моль 22,4 л 44 г

Уравнение состояния идеального газа в форме

Клапейрона-Менделеева

$$p = nkT$$
$$n = \frac{N}{V}$$
$$p = \frac{N}{V} kT \rightarrow \frac{pV}{T} = Nk$$
$$N = \frac{m}{M} \cdot N_A$$

$$\frac{pV}{T} = \frac{m}{M} N_A k$$

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

R - универс. газ. постоянная

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

Уравнение состояния идеального газа
в форме
Менделеева-Клапейрона

Физический смысл удельной газовой постоянной

$$pV_1 = mRT_1 \quad pV_2 = mRT_2$$

$$p(V_2 - V_1) = mR(T_2 - T_1)$$

$$R = [p(V_2 - V_1)] / [m(T_2 - T_1)]$$

Удельная газовая постоянная есть работа в джоулях 1 кг газа в процессе при постоянном давлении и при изменении температуры на 1°

Закон Авогадро

Авогадро нашел, что *моли любых газов при одинаковых температуре и давлении занимают одинаковые объемы.*

В частности, при *нормальных условиях*

$$T_n = 273,15 \text{ }^{\circ}\text{K} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad P_n = 1 \text{ атм} = 1.013 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

1 моль любого газа занимает один и тот же объем

$$V_{m0} = 22.41 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{моль}$$

Моль – это количество вещества, в котором содержится число частиц, равное числу атомов изотопа углерода C^{12} в **0.014 кг.**

Уравнение состояния идеального газа (уравнение Менделеева-Клапейрона).

$$pV = \frac{m}{M}RT \quad \text{или} \quad pV = nRT,$$

где p – давление;

V – объем газа; m – масса газа;

M – молярная масса газа;

T – температура;

n – количество вещества газа, моль;

R – универсальная газовая постоянная, значение которой зависит от единиц, в которых измеряют давление и объем.

ПАРЦИАЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ

- Парциальное давление — часть общего давления смеси газов, приходящаяся на отдельный газ (если бы он занимал весь объем смеси)

ЗАКОН ДАЛЬТОНА

$$P_{\text{газа}} = \frac{P_{\text{смеси}} \times C (\%) }{100 \%}$$

Для воздуха: $P_{\text{атм}} = 760 \text{ мм Hg}$; $C_{\text{кислорода}} = 20,9\%$;

$$P_{\text{кислорода}} = 159 \text{ мм Hg}$$

Изопроцессы в газах

Процессы, протекающие при неизменном значении одного из параметров, называют изопроцессами.

Рассмотрим следующие изопроцессы:

**Название
процесса**

**Изотермический
процесс**

**Изобарный
процесс**

**Изохорный
процесс**

**Постоянная
величина**

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

Газовые законы. Изопроцессы

Название процесса	Постоянный параметр	Формула газового закона	Название газового закона	Графическое представление газового закона
Изотермический	T температура	$p \cdot V = \text{const}$ $p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 = \dots$	Бойля – Мариотта	
Изобарный	p давление	$\frac{V}{T} = \text{const}$ $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \dots$	Гей-Люссака	
Изохорный	V объем	$\frac{p}{T} = \text{const}$ $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} = \dots$	Шарля	

Активация
Чтобы активир

Изотермический процесс -

- процесс изменения состояния термодинамической системы макроскопических тел при постоянной температуре.

Из уравнения состояния $\frac{pV}{T} = \text{const}$ следует:

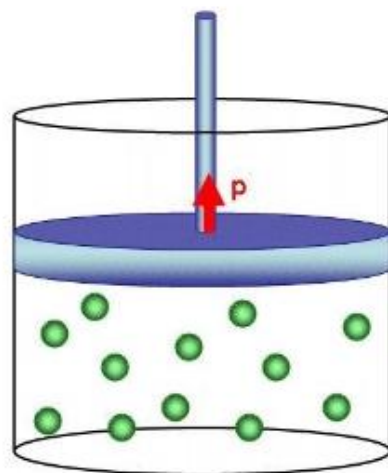
Для одной и той же массы одного и того же газа при $T = \text{const}$ произведение $pV = \text{const}$ (закон Бойля – Мариотта).



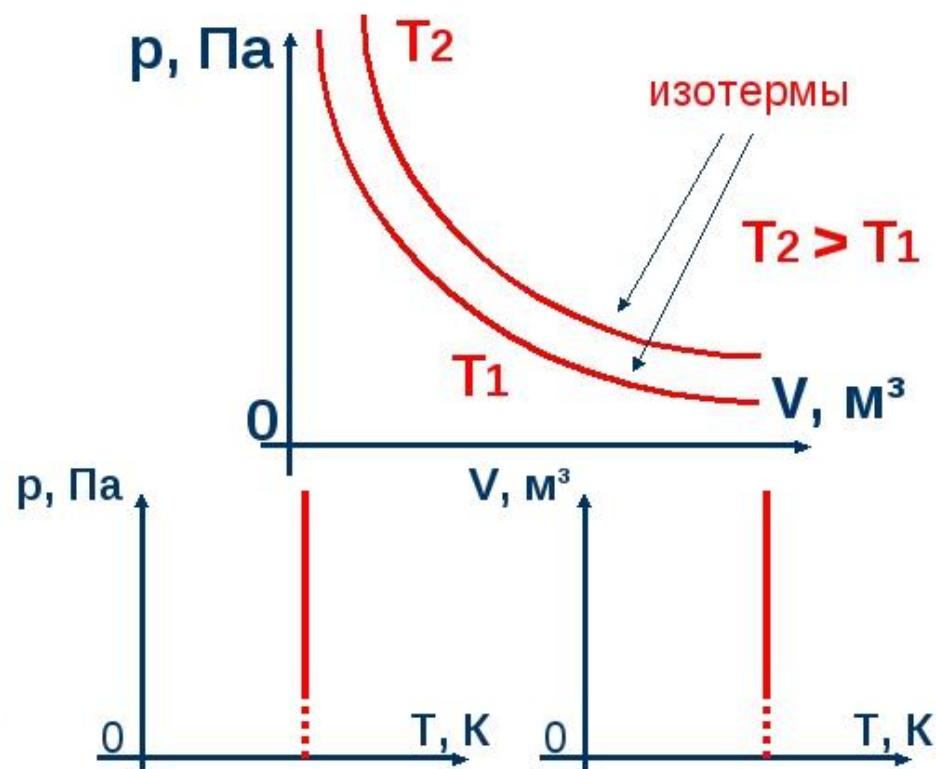
Р. Бойль



Э. Мариотт



Если $T = \text{const}$, то
при $V \downarrow$ $p \uparrow$,
и наоборот $V \uparrow$ $p \downarrow$



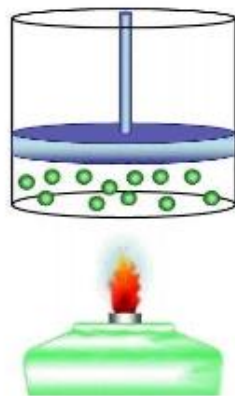
Изобарный процесс -

процесс изменения состояния термодинамической системы при постоянном давлении.

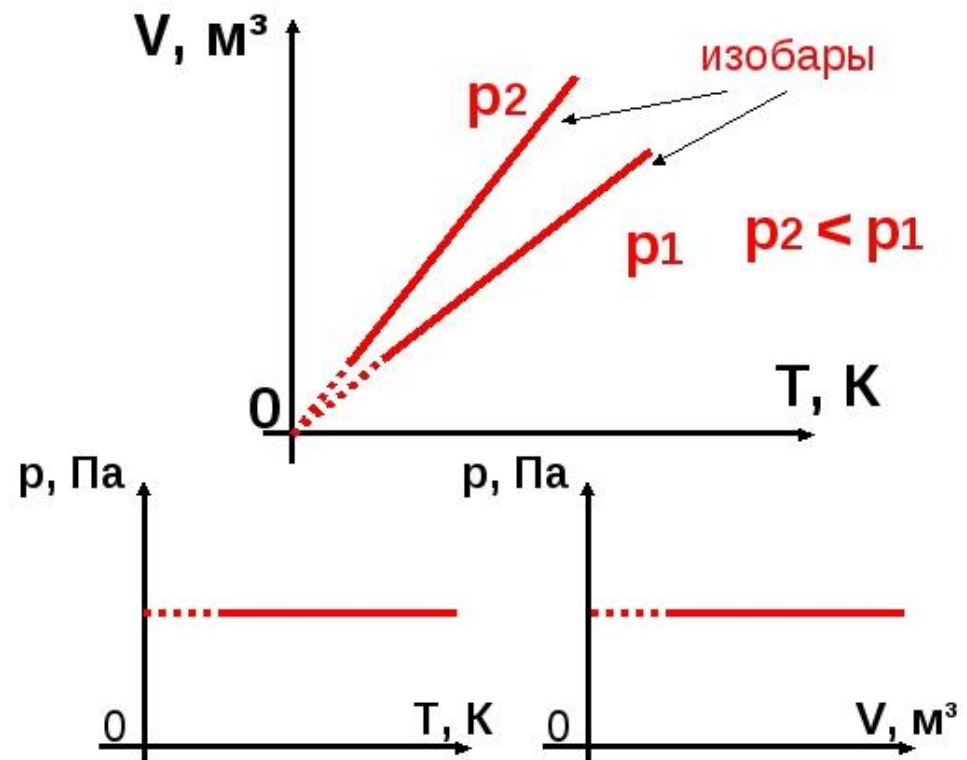
Для одной и той же массы одного и того же газа при $p = \text{const}$ отношение $V/T = \text{const}$ (закон Гей-Люссака).



Ж. Гей-Люссак



Если $p = \text{const}$, то
при $T \downarrow V \downarrow$,
и наоборот $T \uparrow V \uparrow$



Изохорный процесс -

процесс изменения состояния термодинамической системы макроскопических тел при постоянном объеме.

Условия выполнения:

$V - \text{const}, m - \text{const}, \text{хим. состав} - \text{const}.$

$p/T = \text{const}$ или $P_1/T_1 = P_2/T_2$ (закон Шарля).



Ж. Шарль 1787

Если $V = \text{const}$, то
при $T \downarrow p \downarrow$,
и наоборот $T \uparrow p \uparrow$

