

**Молекулярная
физика.**

**Тепловые
явления.**



Рассматриваемые вопросы:

1. Основы молекулярно-кинетической теории.

2. Температура. Энергия теплового движения молекул

2. Температура. Энергия теплового движения молекул.

3. Уравнение состояния идеального газа. Газовые законы.

4. Взаимные превращения жидкостей и газов.

5. Твердые тела

6. Основы термодинамики.

Основы МКТ

- Основные положения МКТ →
- Молекулярно-кинетическая теория →
- Масса и размеры молекул →
- Количество вещества →
- Строение газов, жидкостей и твердых тел →
- Идеальный газ →
- Среднее значение квадрата скорости молекул →
- Основное уравнение МКТ →



Температура и энергия теплового движения молекул

- Температура и тепловое равновесие
- Температура – мера средней кинетической энергии молекул
- Скорости молекул



Уравнение состояния идеального газа

- Уравнение Менделеева-Клапейрона →
- Газовые законы
 - Изотермический процесс →
 - Изобарный процесс →
 - Изохорный процесс →



Взаимные превращения жидкостей и газов

- **Насыщенный пар** ➡
- **Испарение и кипение** ➡
- **Влажность воздуха** ➡
- **Измерение влажности** ➡



Твердые тела

- Закон Гука →
- Кристаллические тела →
- Аморфные тела →



Основы термодинамики

- **Внутренняя энергия** →
- **Работа в термодинамике** →
- **Количество теплоты** →
- **Первый закон термодинамики и его применение к различным процессам** →
- **Тепловые двигатели** →



Основные положения МКТ

- 1. Все вещества состоят из молекул**
- 2. Молекулы находятся в непрерывном беспорядочном движении**
- 3. Между молекулами действуют силы взаимного притяжения и отталкивания**



Молекулярно-кинетическая теория

- ✓ МКТ объясняет свойства макроскопических тел и тепловых процессов, на основе представлений о том, что все тела состоят из отдельных, беспорядочно движущихся частиц.
- ✓ Макроскопические тела – тела, состоящие из большого количества частиц.
- ✓ Микроскопические тела – тела, состоящие из малого количества частиц.



Броуновское движение

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

Броуновское движение стало доказательством непрерывного и хаотичного (теплого) движения молекул вещества.

- открыто английским ботаником Р. Броуном в 1827 г.

- дано теоретическое объяснение на основе МКТ А. Эйнштейном в 1905 г.

- экспериментально подтверждено франц. физиком Ж. Перреном.

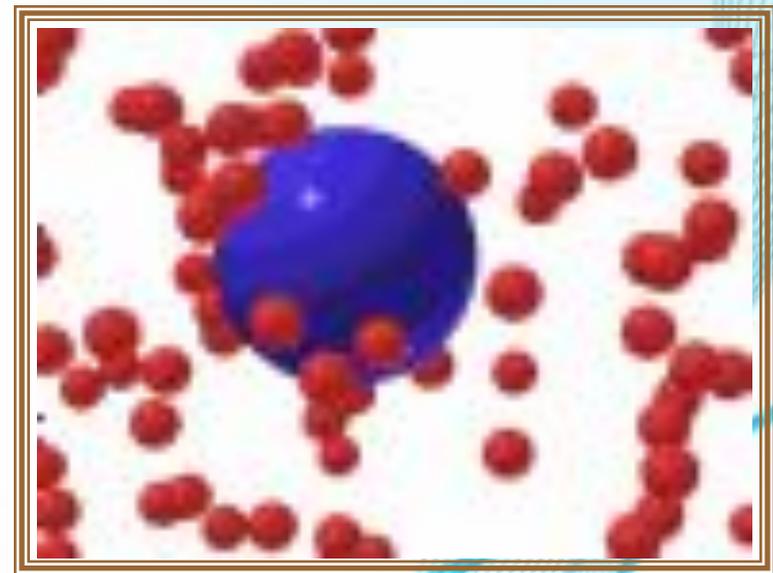
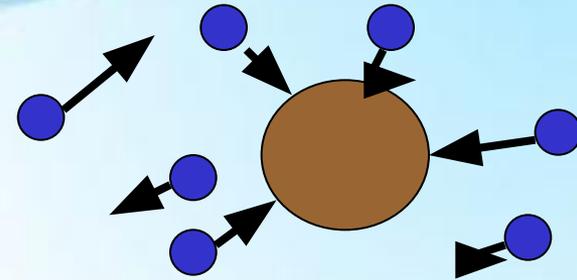


Траектория броуновской частицы



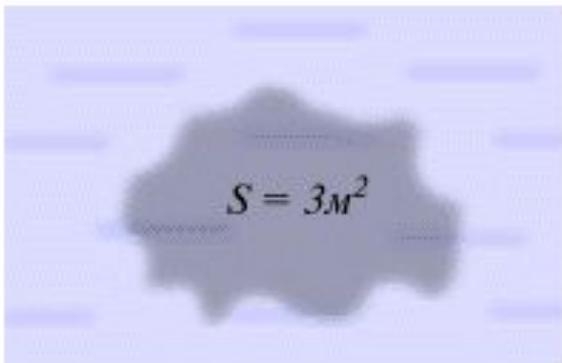
Броуновское движение

- Причина броуновского движения состоит в том, что удары молекул жидкости о частицу не компенсируют друг друга.

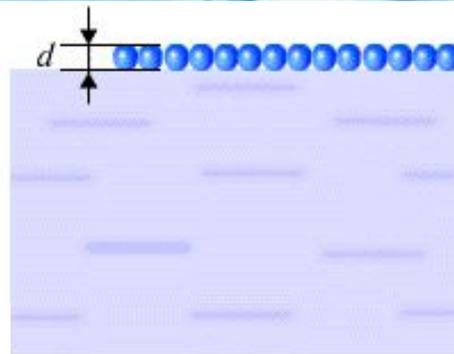


Масса и размеры молекул

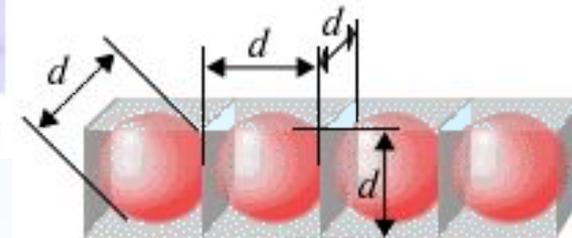
$$\rightarrow V = 1 \text{ мм}^3 = 1 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3$$



$$d = \frac{V}{S} = \frac{10^{-9} \text{ м}^3}{3 \text{ м}^2} \approx 3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$$



d – диаметр частицы вещества



V_0 – объём частицы вещества

ρ – плотность

m_0 – масса частицы вещества

$$m_0 = \rho \cdot V_0 = \rho \cdot d^3$$

$$m_0 = 800 \text{ кг/м}^3 \cdot (3 \cdot 10^{-10} \text{ м})^3$$

$$m_0 \approx 2 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$$

Оценка размера
молекулы

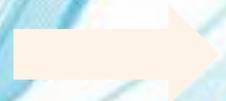
Оценка массы молекулы

Масса и размеры молекул

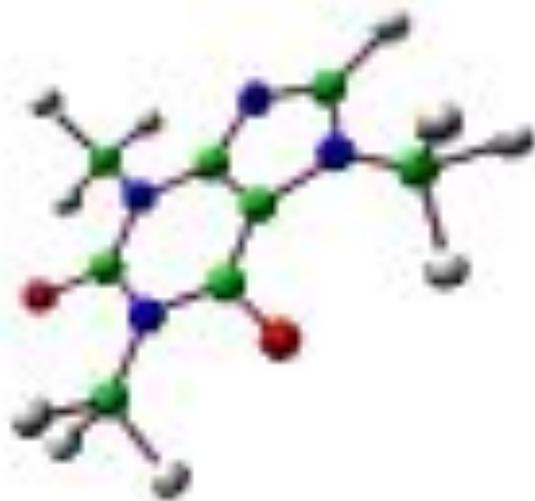
В 1 г воды содержится $3,7 \cdot 10^{22}$ молекул.

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

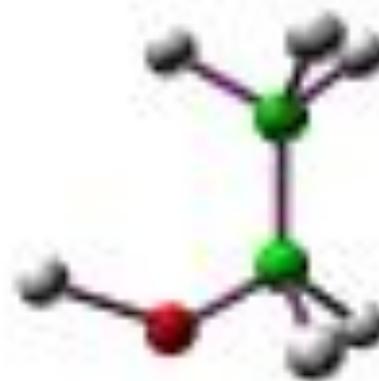
Массы молекул в макроскопических масштабах
чрезвычайно малы.



Масса и размеры молекул



кофе



ЭТАНОЛ



Масса и размеры молекул

1961 год

Относительной молекулярной (или атомной) массой вещества (M_r) называют отношение массы молекулы (или атома) m_0 данного вещества к $1/12$ массы атома углерода m_{0C} .

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



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.



Количество вещества

В 1 моле любого вещества содержится одно и то же число атомов или молекул.

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

Количество вещества равно отношению числа молекул в данном теле к постоянной Авогадро.

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



Количество вещества

Молярной массой вещества называют массу вещества, взятого в количестве 1 моль.

$$\mu = m_0 N_A$$

$$[\mu] = \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

m_0 - масса одной молекулы или атома

$$m_0 = \frac{\mu}{N_A}$$



Количество вещества

$$m = m_0 N$$

m – масса вещества

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

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

- формула для расчета
числа частиц в теле



*Строение газов, жидкостей и
твердых тел*



Строение твёрдых тел, жидкостей и газов,

Критерии сравнения	Газ	Жидкость	Твёрдое тело
Расположение молекул	<p style="text-align: center;">«ХАОС»</p> 	<p style="text-align: center;">«ХАОС»</p> 	<p style="text-align: center;">«ПОРЯДОК»</p> 
Характер движения молекул	Двигаются свободно по всему объёму	Колеблются на месте, перескакивают с места на место	Колеблются на месте.
Взаимодействие молекул	Слабое	Сильное	Огромное
Основные свойства	<ol style="list-style-type: none"> 1. Не имеет формы. 2. Не сохраняет объём. 3. Сжимаем. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Не имеет формы. 2. Сохраняет объём 3. Не сжимаема. 4. Текуча. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Сохраняет форму. 2. Сохраняет объём. 3. Не сжимаемо

Идеальный газ

Идеальный газ – это газ, в котором

- Частицы – материальные точки
- Частицы взаимодействуют только при соударениях
- Удары абсолютно упругие



Среднее значение квадрата скорости молекул

- **Скорость – величина векторная, поэтому средняя скорость движения частиц в газе равна нулю.**

$$\vec{v}_{cp} = \frac{\vec{v}_1 + \vec{v}_2 + \vec{v}_3 + \dots}{N} = 0$$



Среднее значение квадрата скорости молекул

$$\overline{v}^2 = \frac{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 + \dots}{N} \neq 0$$

$$\overline{v}^2 = \overline{v_x}^2 + \overline{v_y}^2 + \overline{v_z}^2$$

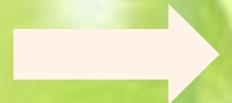
$$\overline{v_x}^2 = \overline{v_y}^2 = \overline{v_z}^2$$

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

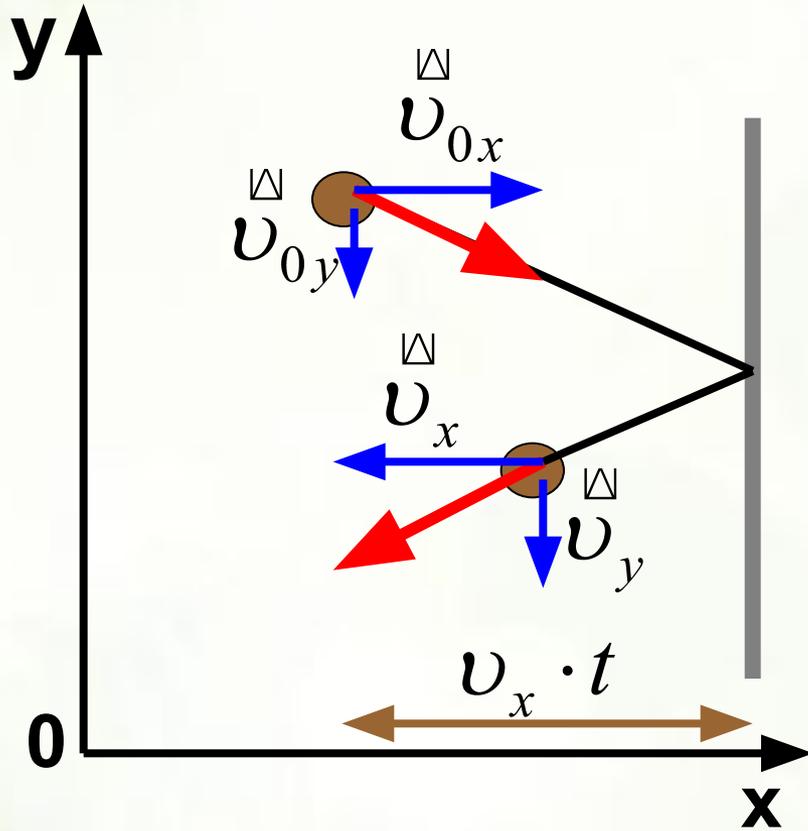


Основное уравнение мкт

- Основное уравнение мкт устанавливает зависимость давления газа от средней кинетической энергии его молекул.
- Газ оказывает давление на стенки сосуда путем многочисленных ударов молекул (или атомов).



Основное уравнение мкт



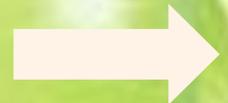
$$\Delta P_{x0} = 2m_0 v_x$$

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

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

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

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



Основное уравнение МКТ связывает микропараметры частиц (массу молекулы, среднюю кинетическую энергию молекул, средний квадрат скорости молекул) с макропараметрами газа (p - давление, V - объем, T - температура).

Давление газа на стенки сосуда пропорционально произведению концентрации молекул на среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекулы.

Ниже приведены различные выражения для основного уравнения МКТ:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{1}{3} n \cdot m_0 \cdot \overline{v^2} = \frac{1}{3} \rho \cdot \overline{v^2} = \frac{2}{3} n \cdot \overline{E_k}$$

где

p - давление газа на стенки сосуда(Па)

n - концентрация молекул, т.е. число молекул в единице объема (1/м³)

m_0 - масса молекулы (кг)

$\overline{v^2}$ - средний квадрат скорости молекул (м²/с²)

ρ - плотность газа (кг/м³)

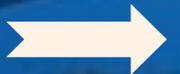
$\overline{E_k}$ - средняя кинетическая энергия молекул (Дж)

Давление идеального газа на стенки сосуда зависит от концентрации молекул и пропорционально средней кинетической энергии молекул.



Температура и тепловое равновесие

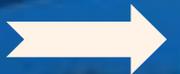
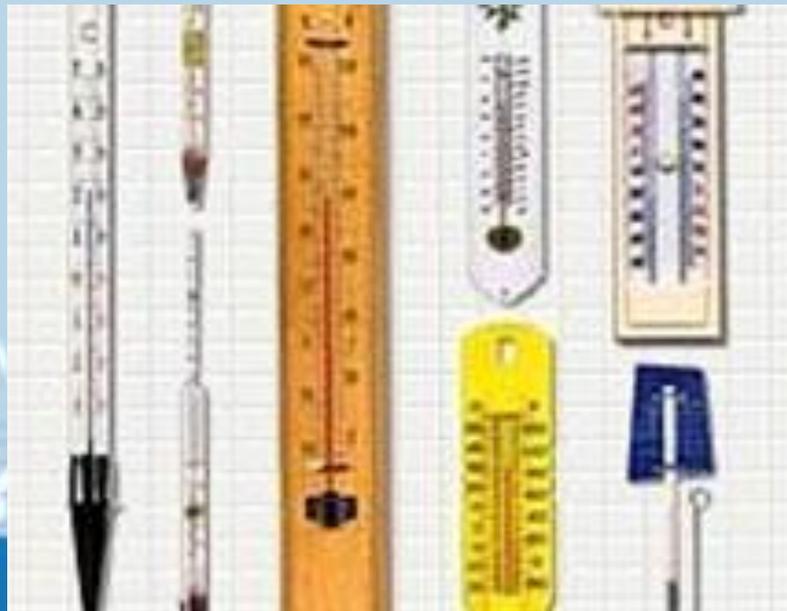
- **Макроскопические параметры (макропараметры)** – величины, характеризующие состояние макроскопических тел без учета молекулярного строения. (V, p, t).
- **Тепловым равновесием** называют такое состояние, при котором все макроскопические параметры всех тел системы остаются неизменными сколь угодно долго.



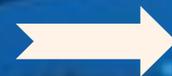
- Любое макроскопическое тело или группа макроскопических тел при неизменных внешних условиях самопроизвольно переходит в состояние теплового равновесия.
- Все тела системы, находящиеся друг с другом в тепловом равновесии имеют одну и ту же температуру.



- **Термометр** – прибор для измерения температуры тела.
- Термометр входит в состояние теплового равновесия с исследуемым телом и показывает свою температуру.



Основная деталь термометра – **термометрическое тело**, то есть тело, макропараметры которого изменяются при изменении температуры. (Например, в ртутных термометрах термометрическим телом является ртуть – при изменении температуры изменяется ее объем.)



- Изобретателем термометра является Галилео Галилей (ок. 1600 г.)
- Термометрическим телом в его термометре являлся газ – при повышении температуры его объем увеличивался, вытесняя жидкость.
- Недостатком термометра Галилея являлось отсутствие температурной шкалы.



Температурные шкалы

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

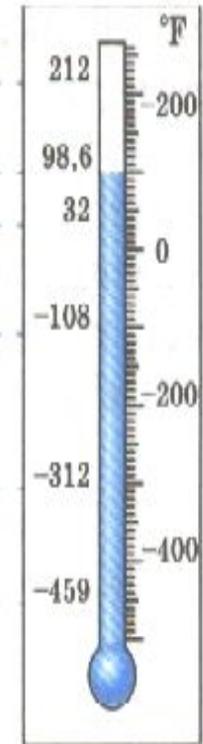
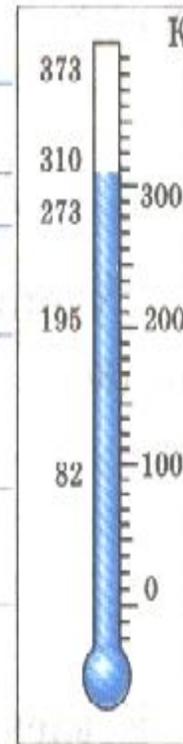
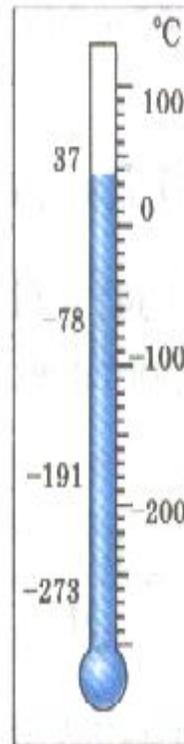
температура
тела человека

плавление льда

сухой лед (CO_2)

жидкий воздух

абсолютный нуль



Постоянная Больцмана

- Разность полученных в эксперименте значений величины pV/N равна $1,38 \cdot 10^{-21}$ Дж.
- Разделим полученную величину на 100, и найдём, что одному градусу по Цельсию соответствует $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ по Кельвину.
- $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана.

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

Температура тела – мера средней кинетической энергии движения молекул.

- *Какая физическая величина одинакова у любых тел при тепловом равновесии?*
- *Предположим, что при тепловом равновесии средние кинетические энергии молекул одинаковы.*
- *Из основного уравнения МКТ можно получить :*

$$p = \frac{3}{2} n E_k \Rightarrow \frac{3}{2} E_k = \frac{p}{n} \Rightarrow \frac{3}{2} E_k = \frac{pV}{N}$$



Абсолютная температура и абсолютный нуль

- Из полученного равенства следует, что при $T = 0$ должны равняться нулю или давление (т.е. движение и соударение молекул со стенками прекращается) или объём газа (т.е. сжатие до нуля).
- Отсюда понятие **абсолютного нуля температуры (0 К) – температуры, при которой должно прекратиться движение молекул.**
- Установим связь между абсолютной температурой и температурой по Цельсию:
т. к. при $t = 0$ $kT = 3,76 \cdot 10^{-21}$ Дж,
где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К,
то $T = 3,76 \cdot 10^{-21} / 1,38 \cdot 10^{-23} \approx 273,15$ (К)
Таким образом **$T \approx t + 273$**

Зависимость давления газа от температуры и концентрации молекул газа

$$\left. \begin{aligned} \bar{E}_k &= \frac{3}{2} kT \\ p &= \frac{2}{3} n \bar{E}_k \end{aligned} \right\} p = nkT$$



Скорости молекул

$$\left. \begin{aligned} \overline{E}_{k0} &= \frac{3}{2} kT \\ \overline{E}_{k0} &= \frac{m_0 \overline{v}^2}{2} \end{aligned} \right\}$$

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

**- средняя
квадратичная
скорость**



Уравнение состояния идеального газа

(ур-е Менделеева – Клапейрона)

$$p = nkT = \frac{N}{V} kT$$

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

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

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

- универсальная
газовая постоянная



**Если в ходе процесса масса газа
остается неизменной, то**

$$\frac{pV}{T} = \frac{m}{\mu} R = \text{const}$$

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} = \frac{p_3 V_3}{T_3} = \dots$$



Изопроцессы

-Изотермический процесс



-Изобарный процесс



-Изохорный процесс



Изотермический процесс

- Процесс, происходящий с газом неизменной массы при постоянной температуре называется изотермическим.
- Изотермический процесс описывается **законом Бойля – Мариотта** (конец 17 века):

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

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$



Изобарный процесс

- Процесс, происходящий с газом неизменной массы при постоянном давлении называется изобарным.
- Изобарный процесс описывается **законом Гей-Люссака** (1802 г.):

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

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



Изохорный процесс

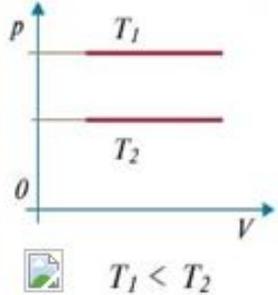
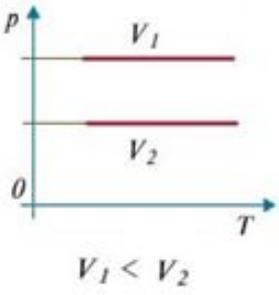
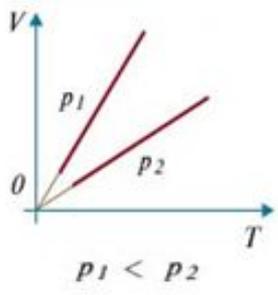
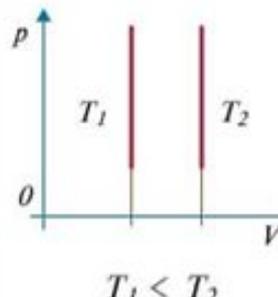
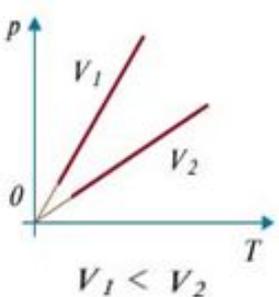
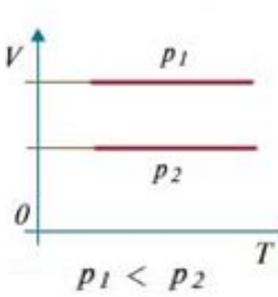
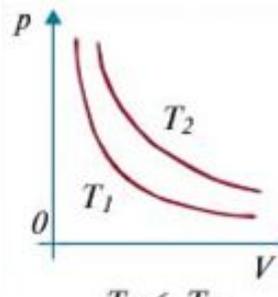
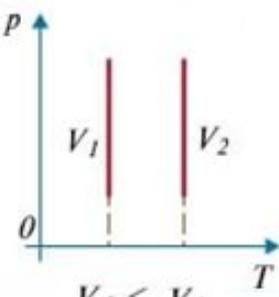
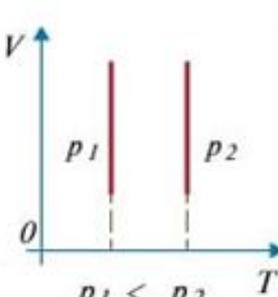
- Процесс, происходящий с газом неизменной массы при постоянном объеме называется **изохорным**.
- Изохорный процесс описывается **законом Шарля** (1787 г.):

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

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



Графики изопроцессов

	$p(V)$	$p(T)$	$V(T)$
изобарный $p = const,$ $\frac{V}{T} = const$	 <p>$T_1 < T_2$</p>	 <p>$V_1 < V_2$</p>	 <p>$p_1 < p_2$</p>
изохорный $V = const,$ $\frac{p}{T} = const$	 <p>$T_1 < T_2$</p>	 <p>$V_1 < V_2$</p>	 <p>$p_1 < p_2$</p>
изотермический $T = const,$ $pV = const$	 <p>$T_1 < T_2$</p>	 <p>$V_1 < V_2$</p>	 <p>$p_1 < p_2$</p>



НАСЫЩЕННЫЙ И НЕНАСЫЩЕННЫЙ ПАР



Процесс испарения, скорость которого постепенно уменьшается

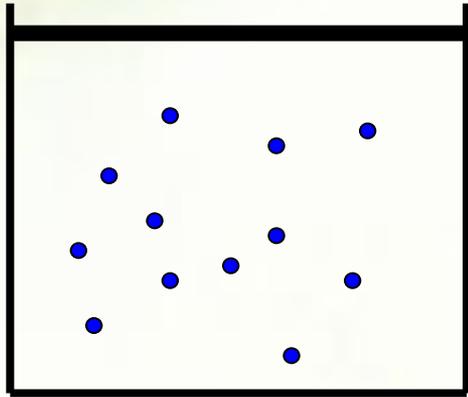
Процесс конденсации, скорость которого постепенно возрастает

С течением времени в сосуде устанавливается динамическое равновесие

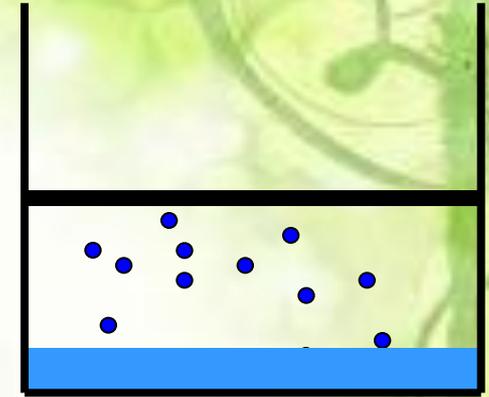
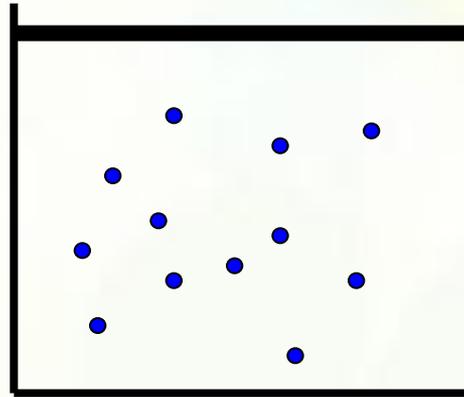
Пар, находящийся в состоянии динамического равновесия со своей жидкостью, называется

НАСЫЩЕННЫМ

Давление насыщенного пара



p_1, V_1



p_2, V_2

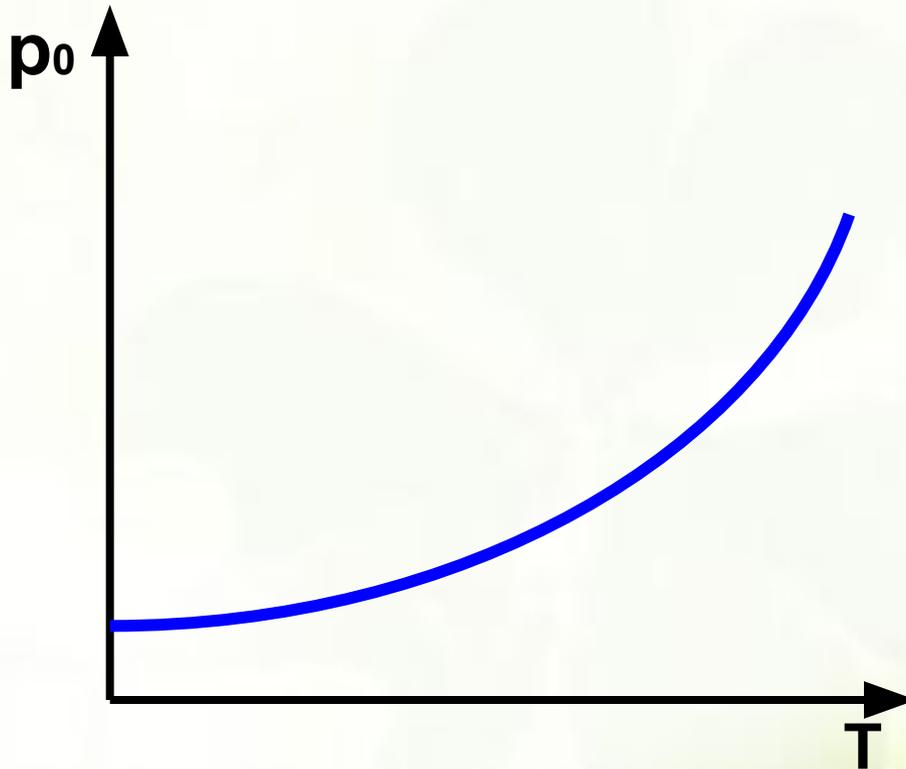
$p_1 = p_2$

Давление насыщенного пара не зависит от занимаемого объема.

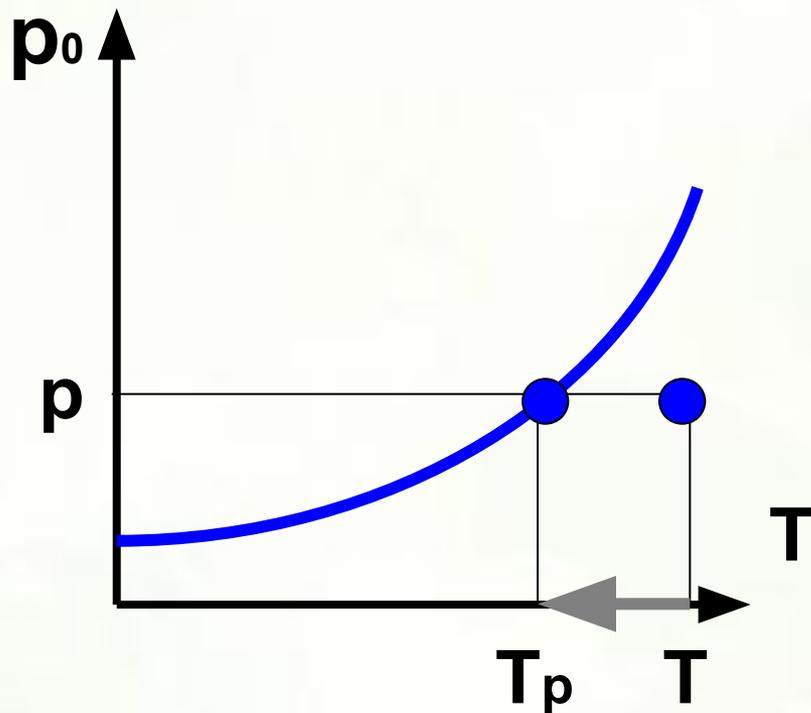


Давление насыщенного пара

Давление насыщенного пара зависит только от температуры.



Давление насыщенного пара



Точка росы – это температура, при которой ненасыщенный пар становится насыщенным .



Испарение и кипение



**Процесс
парообразования с
поверхности
жидкости.**

**Происходит при
любой
температуре.**

Скорость испарения зависит от:

- **Вида жидкости**
- **Температуры**
- **Площади поверхности**
- **Наличие ветра**



**Процесс
парообразования
по всему объему
жидкости.**

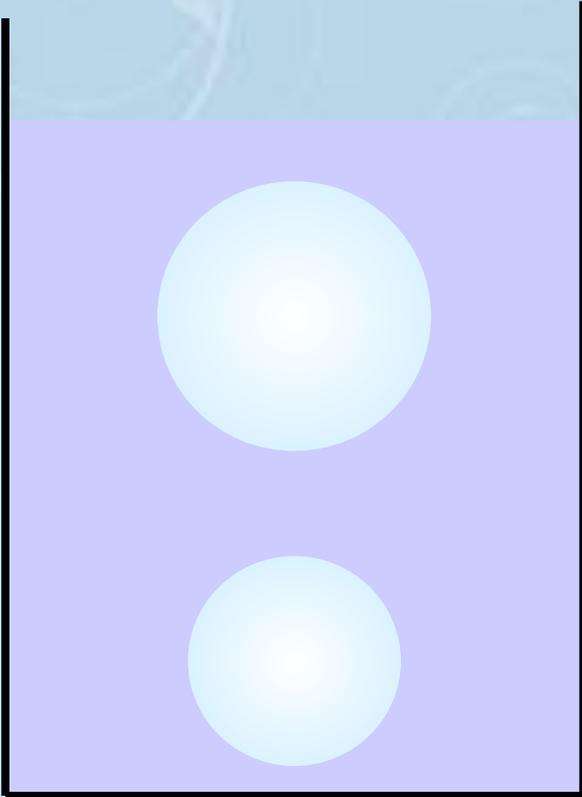
**Происходит при
температуре
кипения.**

**Чем ниже давление,
тем ниже температура
кипения.**



Кипение

- Кипение начинается при температуре, при которой давление насыщенного пара в пузырьках сравнивается с давлением в жидкости.
- Чем больше внешнее давление, тем выше температура кипения.
- Чем выше давление насыщенного пара, тем ниже температура кипения соответствующей жидкости.



ВЛАЖНОСТЬ

АБСОЛЮТНАЯ

ρ - количество водяного пара, содержащегося в 1 м³ воздуха, т.е. **плотность водяного пара**.

$$\rho = \frac{MP}{RT}$$

Давление, которое производил бы водяной пар, если бы другие газы отсутствовали, называют **парциальным давлением водяного пара**

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ

φ - относительная влажность воздуха - показывает, как далек пар от насыщения (%)

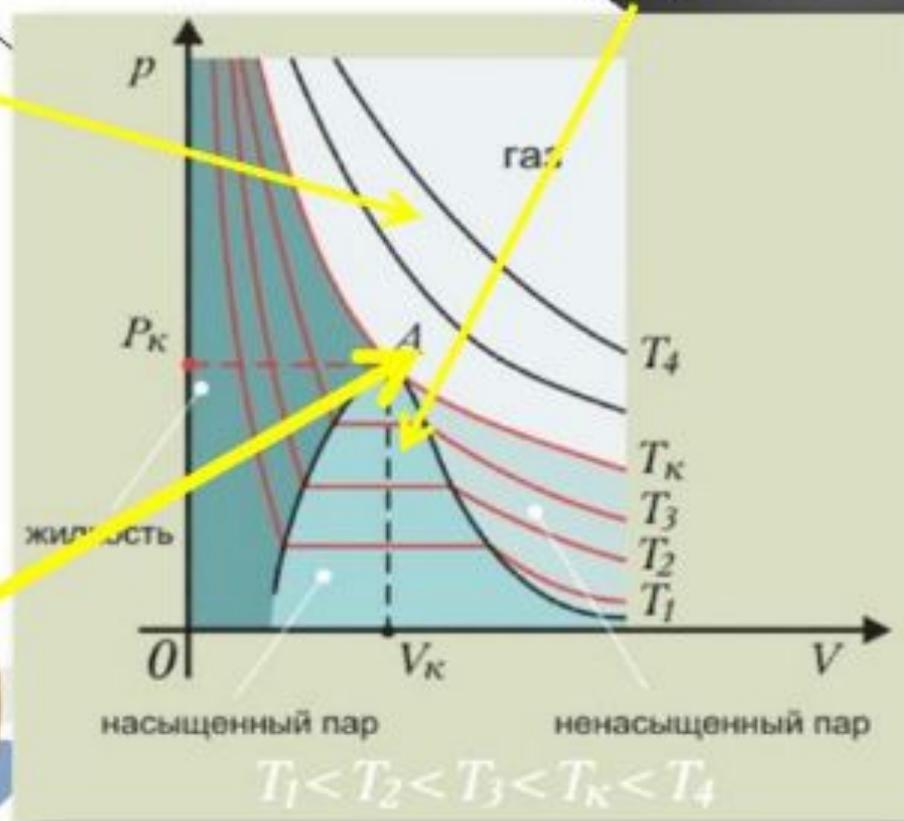
$$\varphi = \frac{P_n}{P_{n.n.}} \cdot 100\%$$

отношение парциального давления **P_n** водяного пара, содержащегося в воздухе при данной температуре, к давлению **$P_{n.n.}$** насыщенного пара при той же температуре, выраженной в процентах.

Если температура газа выше критической, то ни при каком давлении газ не перейдет в жидкое состояние.

Если температура газа равна критической, то газ перейдет в жидкое состояние, минуя состояние насыщенного пара.

Если температура газа ниже критической, то изотермическое сжатие переводит его сначала в состояние насыщенного пара, а затем в жидкость.



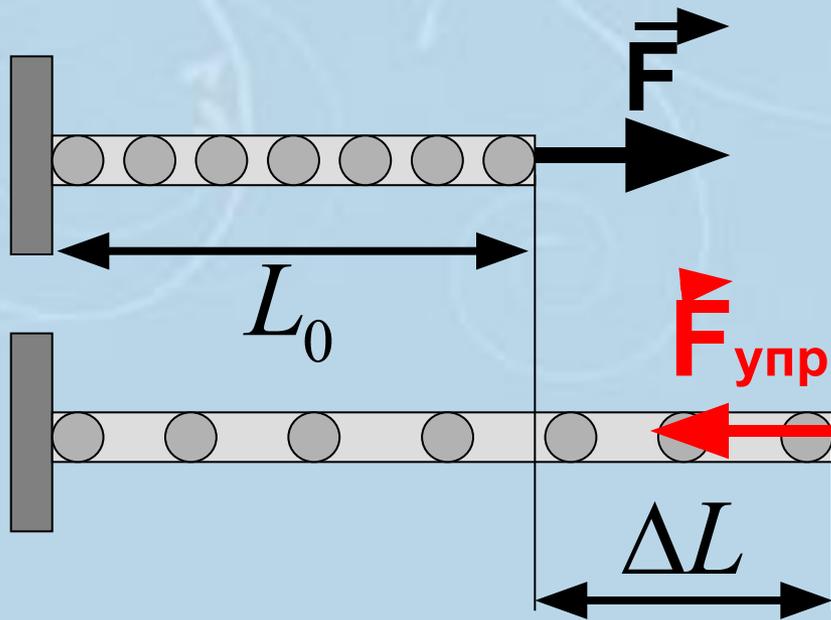
Измерение влажности

Приборы для измерения влажности:

- Психрометр
- Гигрометр



Закон Гука



ΔL - абсолютное удлинение.

$$[\Delta L] = \text{м}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

$$F_{\text{упр}} = -k\Delta L$$

k - жесткость

ε - относительное удлинение

$$[k] = \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$



Закон Гука

$$\sigma = \frac{F}{S} \text{ - механическое напряжение}$$

$$[\sigma] = \frac{Н}{м^2} = Па$$

$\sigma_{пч}$ - предел прочности – максимальное механическое напряжение, которое выдерживает данное вещество

$$\sigma = \varepsilon E$$

E – модуль Юнга

$$[E] = Па$$

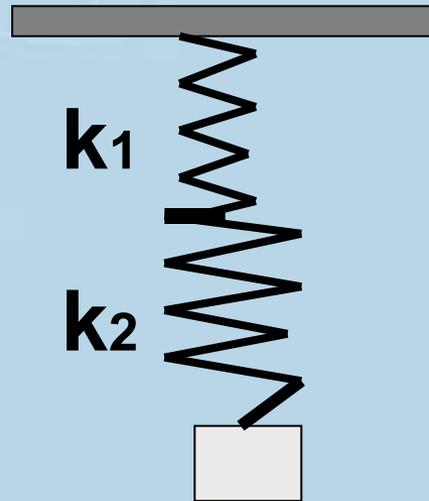
Закон Гука

$$\Delta L = \frac{FL_0}{ES}$$

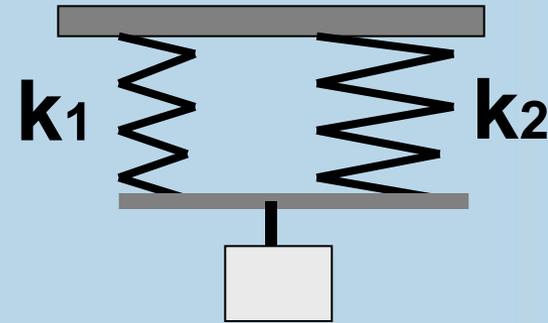
$$F_{\text{упр}} = -kx$$

$$F = -F_{\text{упр}}$$

$$k = \frac{ES}{L_0}$$



$$k = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2}$$

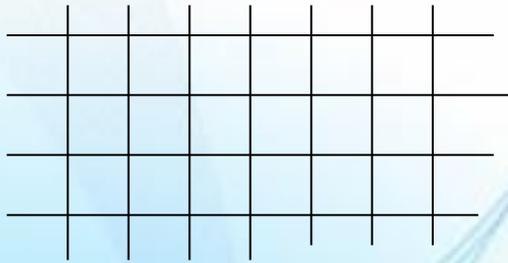


$$k = k_1 + k_2$$

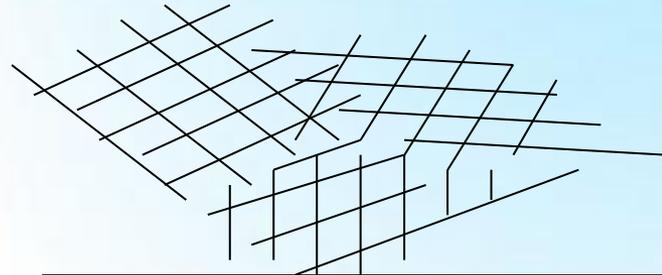


Кристаллические тела

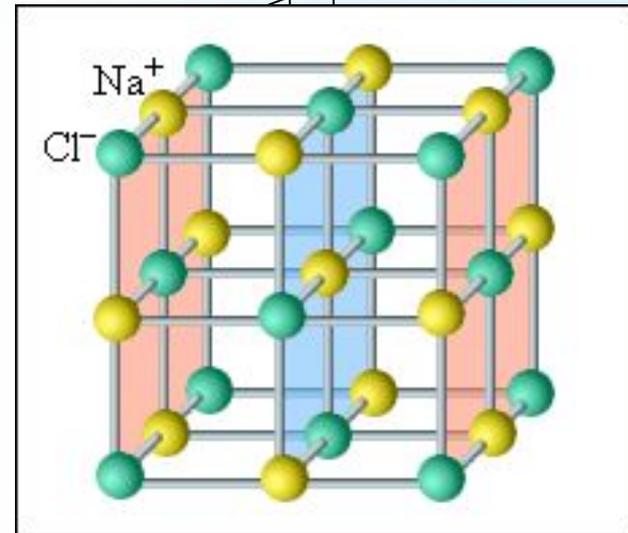
монокристаллы



поликристаллы



Анизотропия –
зависимость физических
свойств от направления
внутри кристалла.



Кристаллическая решетка
поваренной соли

Аморфные тела

- Нет строгого порядка в расположении атомов.
- Все аморфные тела **изотропны**, т.е их физические свойства одинаковы по всем направлениям.
- Аморфные тела **не имеют определенной температуры плавления**.
- При внешних воздействиях аморфные тела обнаруживают одновременно **упругие свойства**, подобно твердым телам, и **текучесть**, подобно жидкости.

Внутренняя энергия

Внутренняя энергия макроскопического тела равна сумме **кинетических** энергий беспорядочного движения всех молекул (или атомов) тела и **потенциальных** энергий взаимодействий **всех молекул** друг с другом (но не с молекулами других тел).

$$[U] = \text{Дж}$$

$$U = N \cdot E_k + N \cdot E_n$$

В идеальном газе частицы не взаимодействуют между собой, следовательно их потенциальные энергии равны нулю.

$$\left. \begin{aligned} U &= N \cdot E_k \\ N &= N_A \frac{m}{\mu} \\ \bar{E}_k &= \frac{3}{2} kT \\ N_A \cdot k &= R \end{aligned} \right\} \begin{aligned} U &= \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} RT \\ U &= \frac{3}{2} \nu RT \\ U &= \frac{3}{2} pV \end{aligned}$$

- Коэффициент $\frac{3}{2}$ применим только для одноатомного газа.
- В общем случае используется коэффициент $\frac{i}{2}$ где i – число степеней свободы движения частицы.

Одноатомный газ (неон, аргон, гелий) – $i = 3$.

Двухатомный газ (водород, азот) – $i = 5$.

Трехатомный газ (углекислый газ, озон) – $i = 6$.

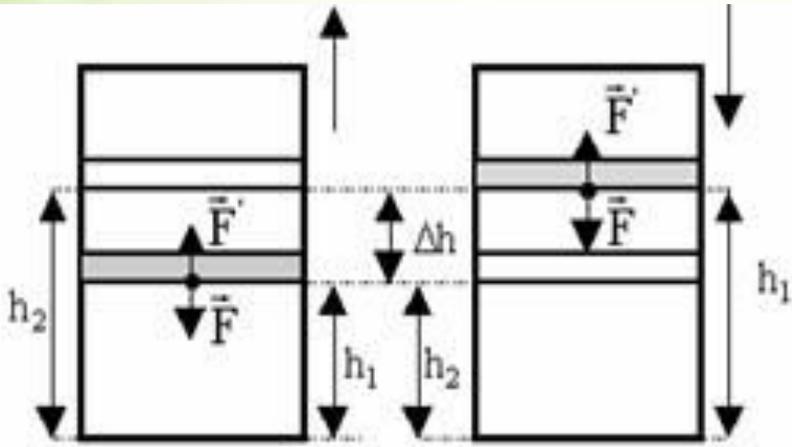
$$U = \frac{3}{2} \frac{m}{\mu} RT$$

Способы изменения внутренней энергии:

- **Передача теплоты**
- **Совершение работы**



Работа в термодинамике



Работа газа:

$$\begin{aligned} A' &= F' \cdot s \cdot \cos(\vec{F}', d) = \\ &= p \cdot s \cdot \Delta h = p \cdot \Delta V \end{aligned}$$

По третьему
закону Ньютона:

$$\vec{F} = -\vec{F}'$$

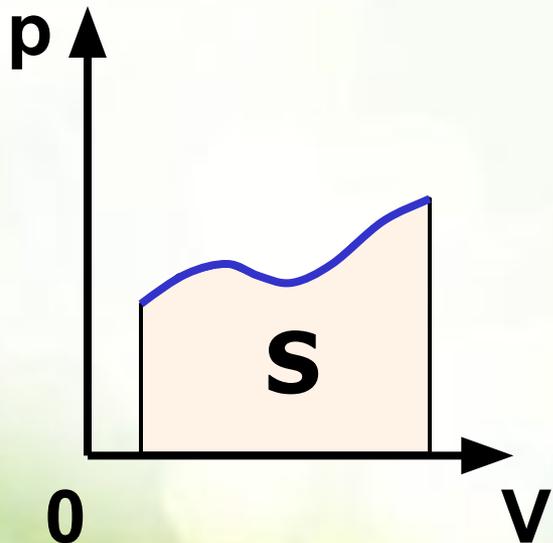
Работа внешних
сил над газом:

$$A = -A' = -p\Delta V$$



Работа в термодинамике

- Если процесс не изобарный, используется графический метод: работа равна площади фигуры под графиком процесса в осях pV .
- Работа газа считается положительной, если объем газа увеличивается и отрицательной, если объем газа уменьшается.



- В случае изохорного процесса работа газа равна нулю.



Количество теплоты

Количество теплоты – это энергия полученная или отданная телом в процессе теплопередачи.

Виды теплопередачи:

- **Теплопроводность**
- **Конвекция**
- **излучение**

$$[Q] = \text{Дж}$$



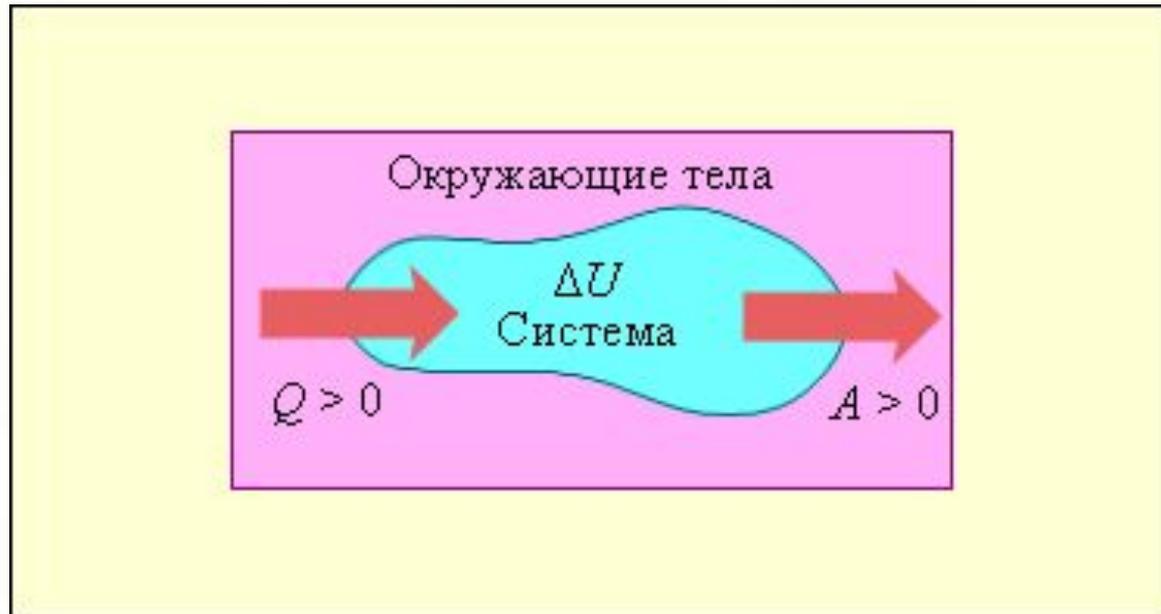
Количество теплоты

- $Q = cm(t_2^0 - t_1^0)$ – нагревание
(охлаждение)
- $Q = \pm \lambda m$ - плавление (отвердевание)
- $Q = \pm Lm$ - парообразование
(конденсация)
- $Q = qm$ – сгорание топлива



Первый закон термодинамики

Обмен энергией между термодинамической системой и окружающими телами в результате теплообмена и совершаемой работы



Изменение внутренней энергии системы при переходе ее из одного состояния в другое равно сумме работы внешних сил и количества теплоты, переданного системе:

$$\Delta U = Q + A$$

Если A - работа внешних сил, а A' - работа газа, то $A = - A'$ (в соответствии с 3-м законом Ньютона).

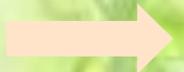
Тогда:

$$Q = \Delta U + A'$$

другая форма записи первого закона термодинамики

Применение первого закона термодинамики к различным процессам

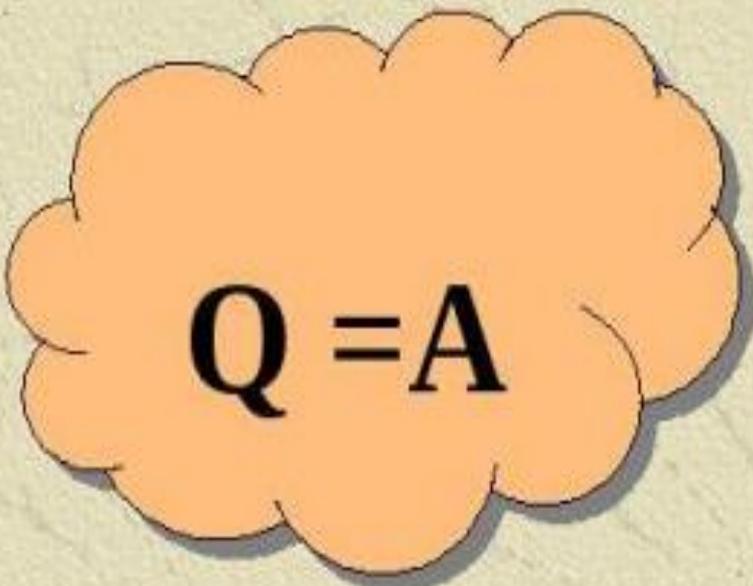
- Изотермический процесс
- Изобарный процесс
- Изохорный процесс
- Адиабатный процесс



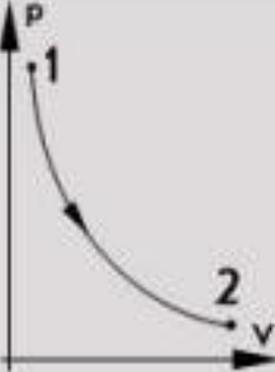
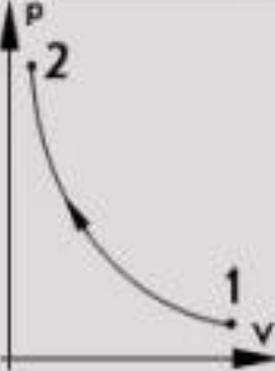
Изотермический процесс ($T = \text{const}$)

✱ $\Delta T = 0$,
следовательно,
внутренняя
энергия
не изменяется: ΔU
 $= 0$.

✱ $Q = A$.


$$Q = A$$

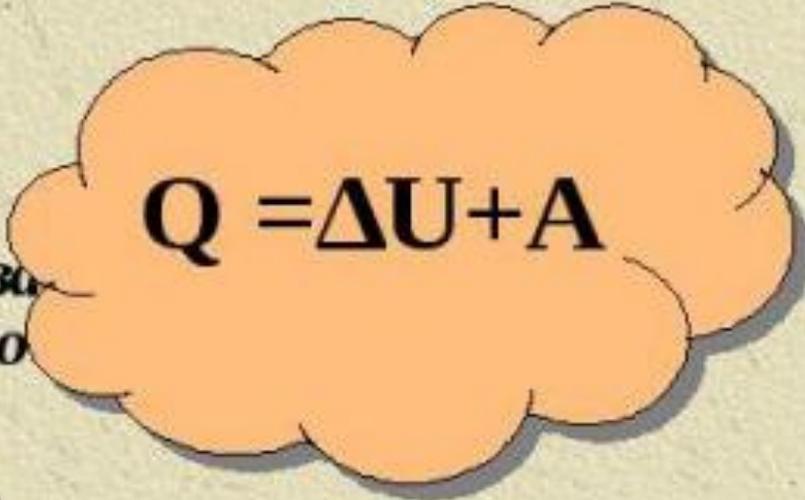


Процесс	Условие процесса	p, V-диаграмма	Первый закон термодинамики применительно к изопроцессу	Изменение внутренней энергии, ΔU	Работа газа, A
Изотермическое расширение	$T = \text{const}$		$Q = A$ $(Q > 0)$	0	$(A > 0)$
Изотермическое сжатие	$T = \text{const}$		$Q = A$ $(Q < 0)$	0	$(A < 0)$

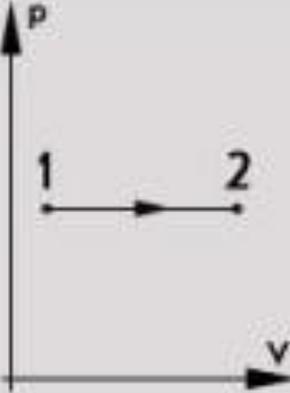
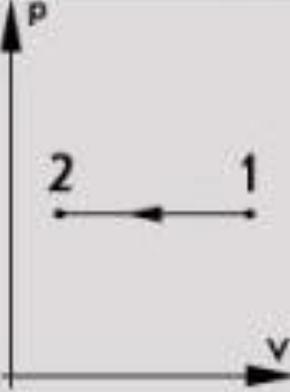
Изобарный процесс ($p = \text{const}$)

✦ При изобарном расширении газа подведённое к нему количество теплоты расходуется как на увеличение его внутренней энергии, так и на совершение работы газом.

✦ Для изобарного расширения газа, при котором увеличивается его температура, требуется большее количество теплоты, чем при изотермическом процессе, где температура газа не меняется.


$$Q = \Delta U + A$$



Процесс	Условие процесса	p, V-диаграмма	Первый закон термодинамики применительно к изопроцессу	Изменение внутренней энергии, ΔU	Работа газа, A
Изобарное расширение	$p = \text{const}$		$Q = \Delta U + A$ ($Q > 0$)	$\Delta U = Q - A$ ($\Delta U > 0$)	$p(V_2 - V_1) =$ $= \frac{m}{M} R(T_2 - T_1)$ $(A > 0)$
Изобарное сжатие	$p = \text{const}$		$Q = \Delta U + A$ ($Q < 0$)	$\Delta U = Q - A$ ($\Delta U < 0$)	$p(V_2 - V_1) =$ $= \frac{m}{M} R(T_2 - T_1)$ $(A < 0)$



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

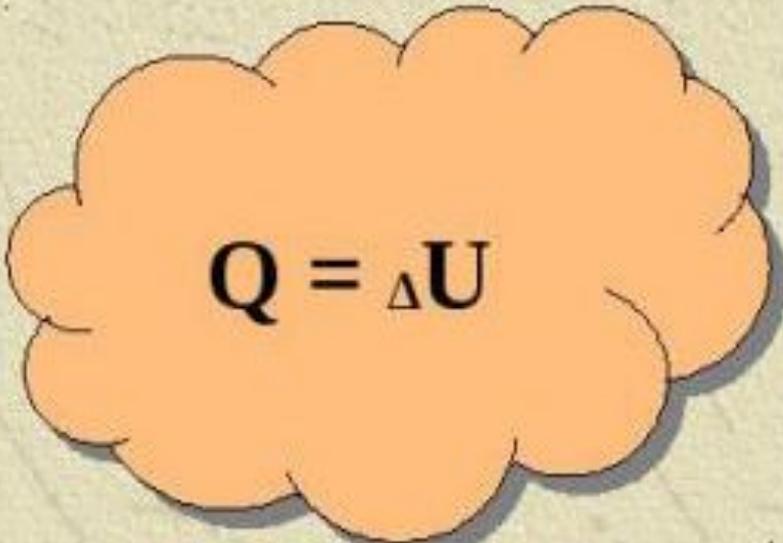
✦ $\Delta V = 0$, поэтому
газ работы не
совершает
т.е. $A = 0$.

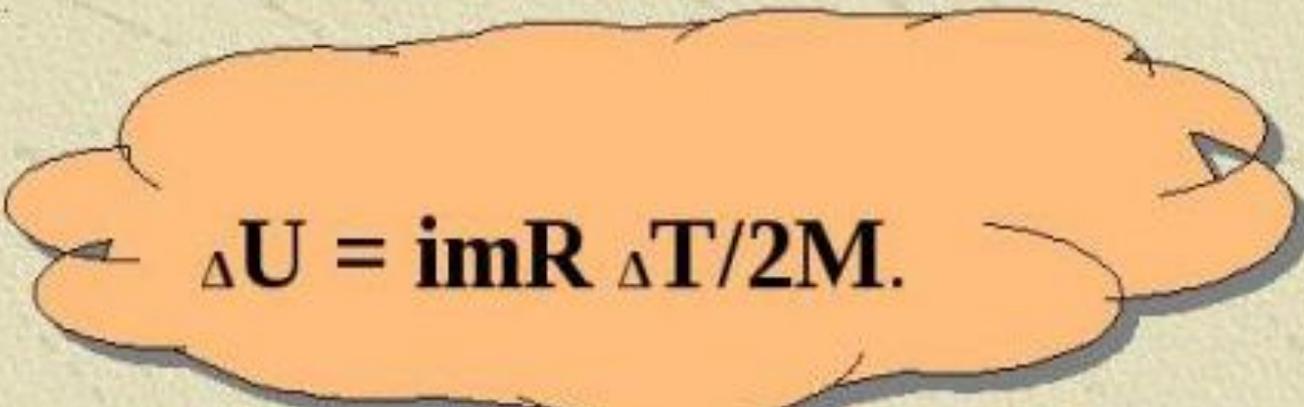
✦ $Q = \Delta U$

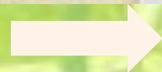
✦ $\Delta U = U_2 - U_1$;

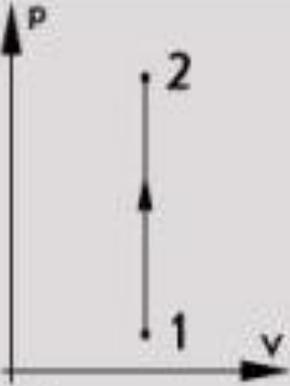
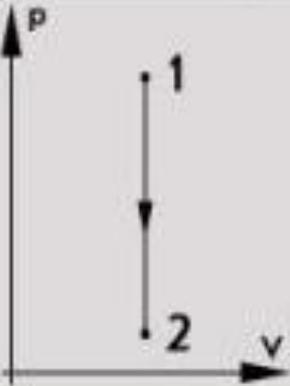
$U_2 = \nu m R T_2 / 2M$;

$U_1 = \nu m R T_1 / 2M$;


$$Q = \Delta U$$


$$\Delta U = \nu m R \Delta T / 2M.$$



Процесс	Условие процесса	p, V -диаграмма	Первый закон термодинамики применительно к изопроцессу	Изменение внутренней энергии, ΔU	Работа газа, A
Изохорное нагревание	$V = \text{const}$		$Q = \Delta U$ ($Q > 0$)	$\Delta U = Q$ ($\Delta U > 0$)	0
Изохорное охлаждение	$V = \text{const}$		$Q = \Delta U$ ($Q < 0$)	$\Delta U = Q$ ($\Delta U < 0$)	0

Адиабатный процесс

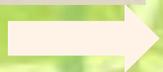
Теплоизолированная система – это система, не обменивающаяся энергией с окружающими телами.

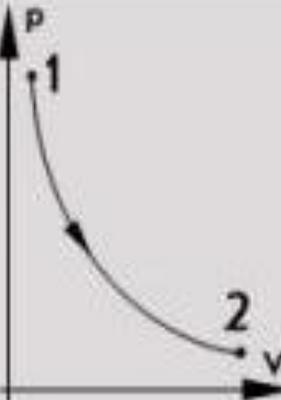
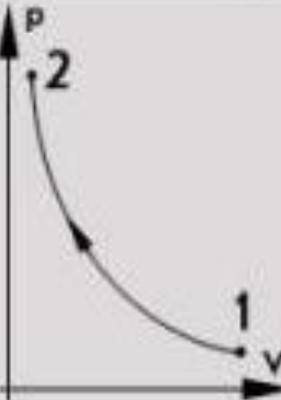
Адиабатный процесс – термодинамический процесс в теплоизолированной системе.

$$Q = 0$$

$$Q = \Delta U + A$$

При закачивании воздуха в колбе увеличивается давление, до тех пор, пока не вылетит пробка. При вылете пробки давление резко становится равным атмосферному. Газ в колбе не успевает обменяться теплом с окружающей средой. Таким образом, мы наблюдаем адиабатный процесс. При резком расширении температура в колбе падает и образуется водяной пар, который мы и наблюдаем.



Процесс	Условие процесса	p, V-диаграмма	Первый закон термодинамики применительно к изопроцессу	Изменение внутренней энергии, ΔU	Работа газа, A
Адиабатное расширение	$\Delta Q=0$		$A=-\Delta U$	$\Delta U < 0$	$A > 0$
Адиабатное сжатие	$\Delta Q=0$		$A=-\Delta U$	$\Delta U > 0$	$A < 0$

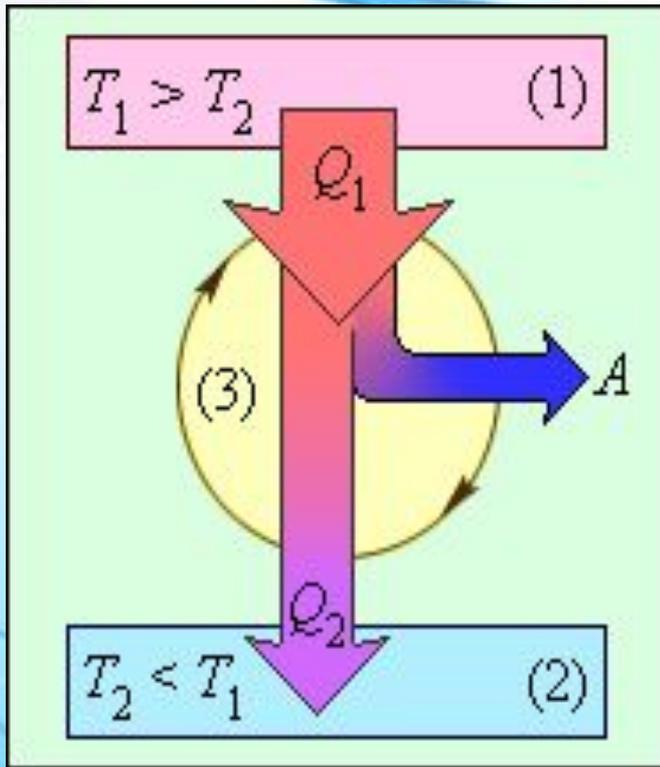


Тепловые двигатели

Машины, преобразующие внутреннюю энергию в механическую работу, называют тепловыми двигателями



Тепловые двигатели



Энергетическая схема тепловой машины: 1 – нагреватель; 2 – холодильник; 3 – рабочее тело, совершающее круговой процесс.

КПД теплового двигателя

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} < 1$$

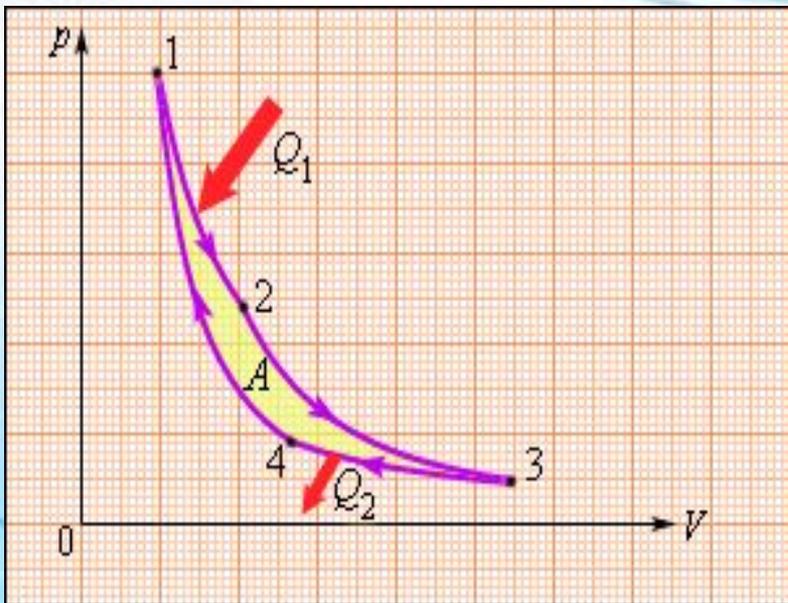
Кпд реальных двигателей:

турбореактивный - 20 -30%;

карбюраторный - 25 -30%,

дизельный - 35-45%.

Идеальная тепловая машина - машина Карно (Сади Карно, Франция, 1815)



Теорема Карно: КПД реальной тепловой машины не может быть больше КПД идеальной машины, работающей в том же интервале температур.

Машина работает на идеальном газе.
1 - 2 - при тепловом контакте с нагревателем газ расширяется изотермически.
2 - 3 - газ расширяется адиабатно.
После контакта с холодильником:
3 - 4 - изотермическое сжатие.
4 - 1 - адиабатное сжатие.

КПД идеальной машины:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Спасибо за
внимание!

