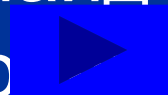


# Инструкция

1. Переход со слайда в основное меню  
осуществляет лампочка



2. Переход на следующий слайд  
осуществляет стрелка, направленная  
вправо:



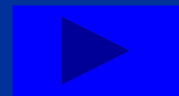
3. Переход на предыдущий слайд  
осуществляет стрелка, направленная влево:



4. Значок, показывающий интересные факты:

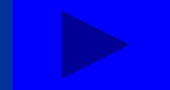
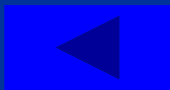


5. То, что нужно запомнить:

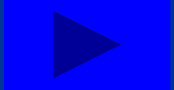
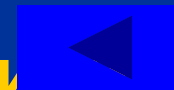


# МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА. ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ.

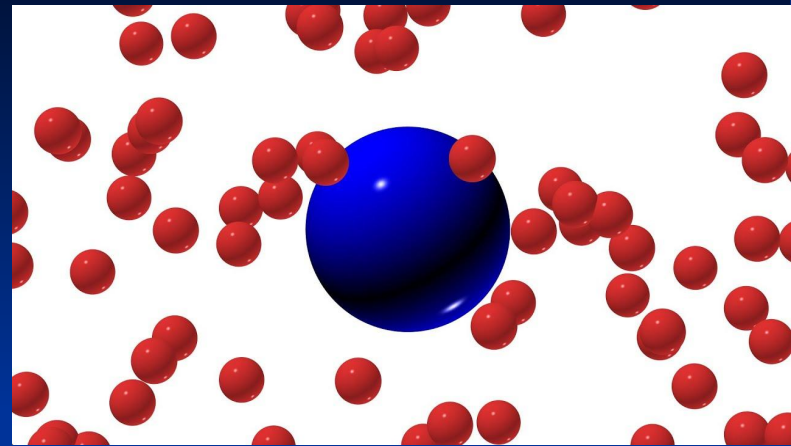
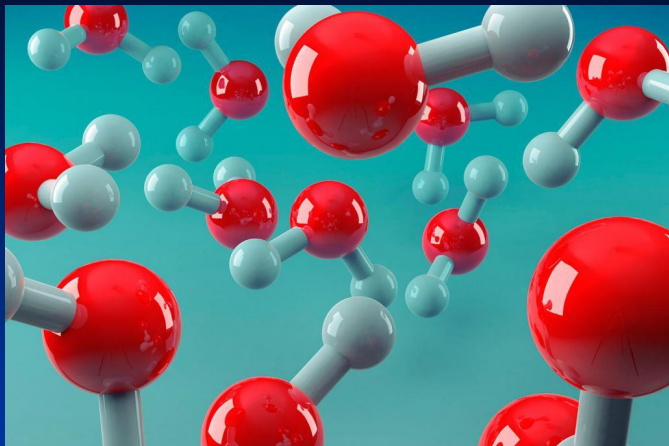
Выполнил:  
Учащийся 10А класса  
Гимназии №76  
Морозов Никита



- Глава 1. Основы МКТ
- Глава 2. МКТ идеального газа
- Глава 3. Газовые законы и уравнение состояния идеального газа
- Глава 4. Взаимные превращения жидкостей и газов
- Глава 5. Твёрдые тела
- Глава 6. Основы термодинамики



# Тема 1:

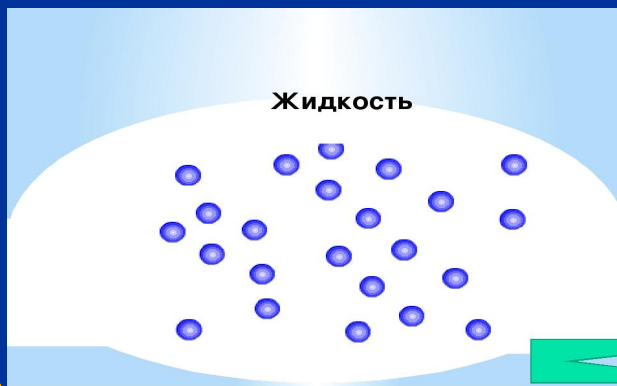


## 1.1 Основные положения МКТ.

## 1.2 Броуновское

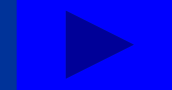
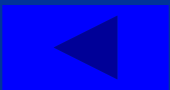
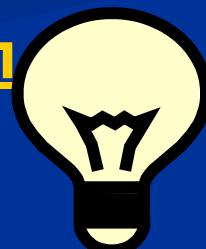
## Размеры молекул.

## движение.

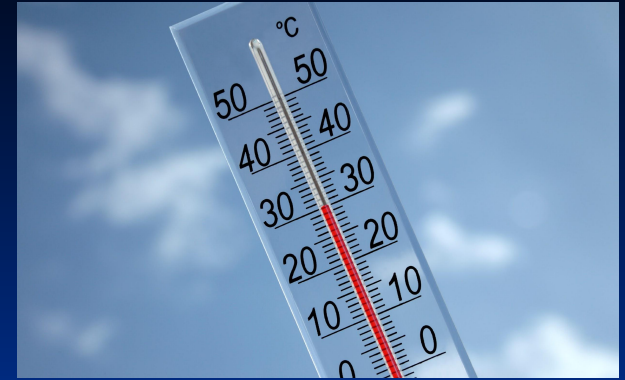
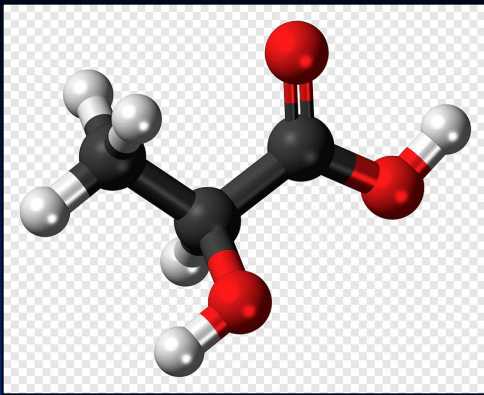


## 1.3 Силы взаимодействия молекул.

## Строение газообразных, жидких и твёрдых тел



# Тема 2



## 2.1 Основное уравнение МКТ.



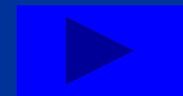
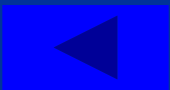
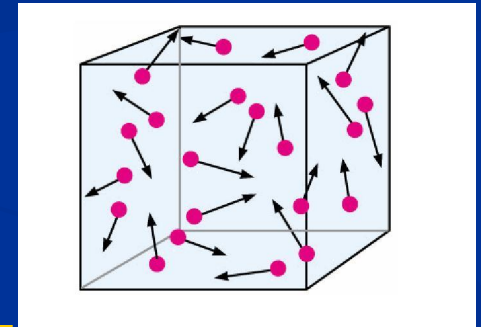
## 2.2 Температура и тепловое равновесие

## 2.3 Определение температуры.

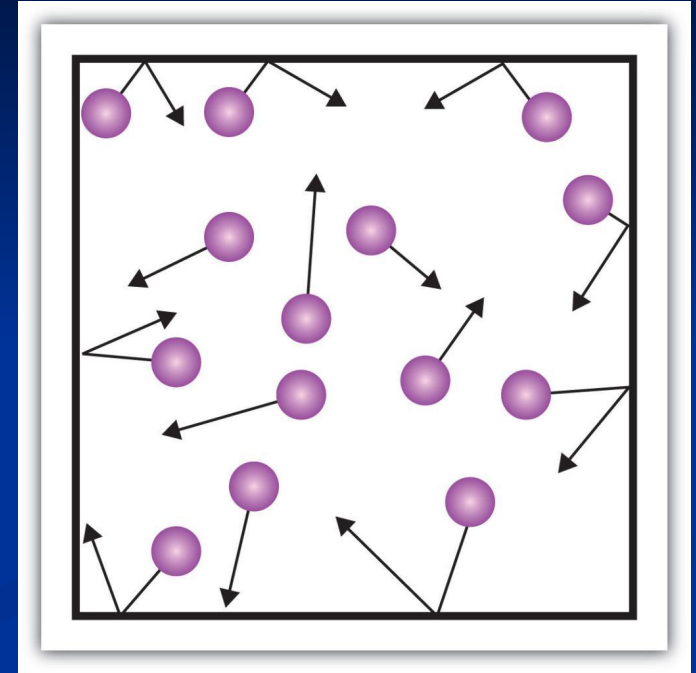
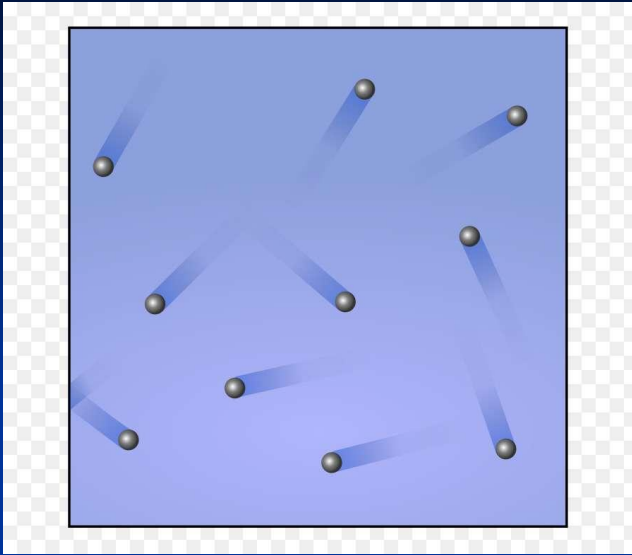
## Энергия теплового движения

## молекул.

## 2.4 Измерение скоростей молекул газа

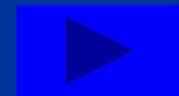
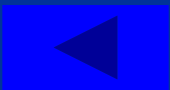


# Тема 3



## 2.1 Уравнение состояния идеального газа.

## 2.2 Газовые законы.



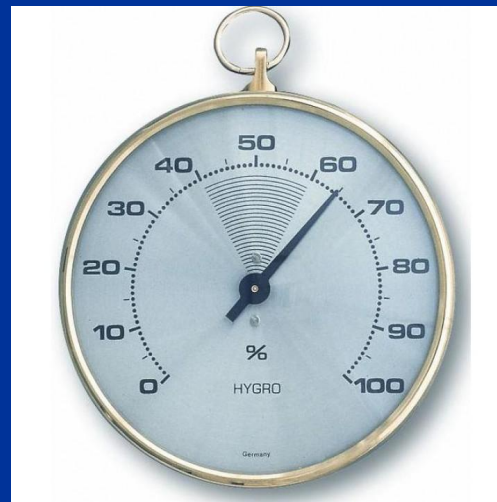
# Тема 4



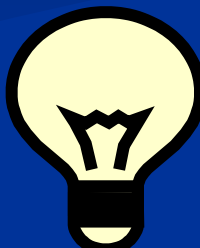
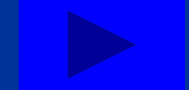
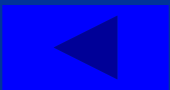
## 4.1 Насыщенный пар



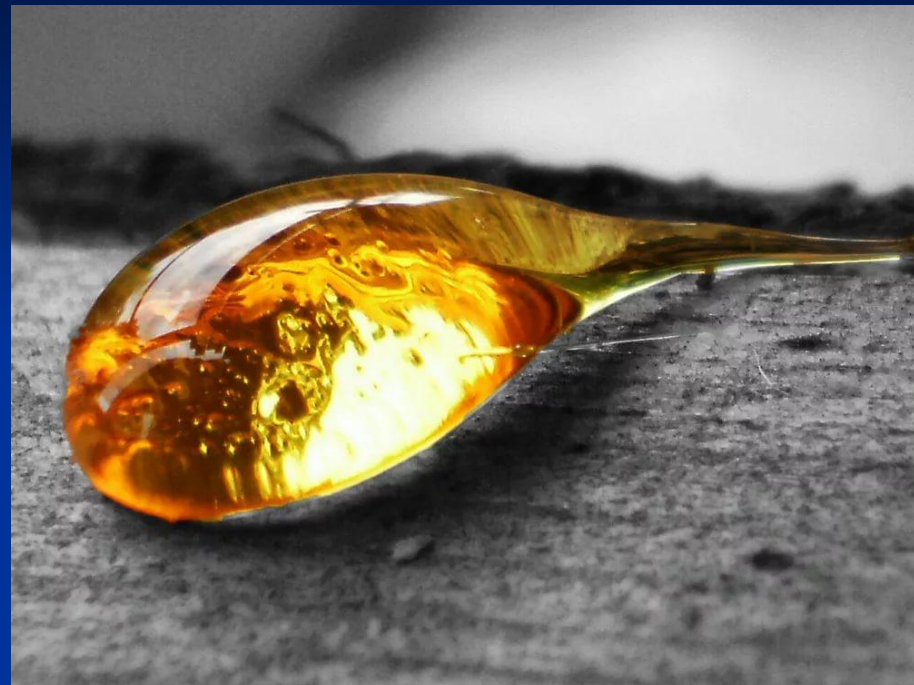
## 4.2 Давление насыщенного пара



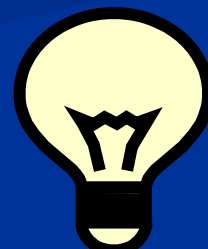
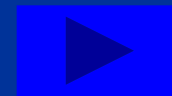
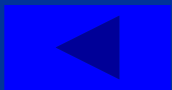
## 4.3 Влажность воздуха



# Тема 5



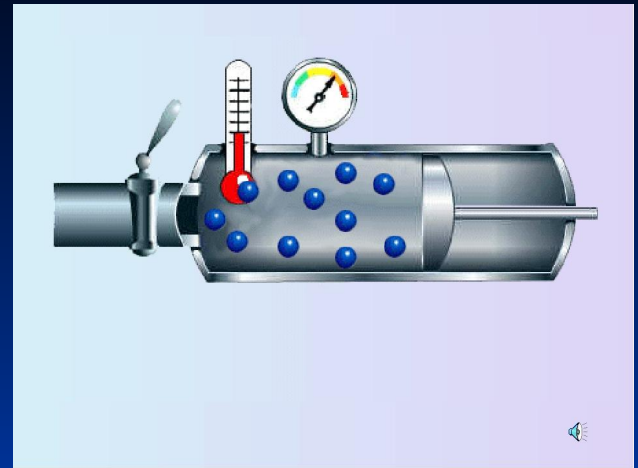
## 5.1 Кристаллические и аморфные тела





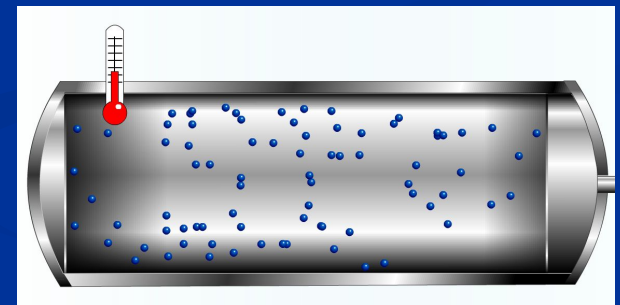


# Тема 6



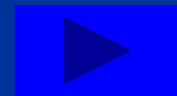
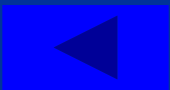
## 6.1 Внутренняя энергия

## 6.2 Работа в термодинамике



## 6.4 Первый закон термодинамики

6.3 Количество теплоты.  
Уравнение теплового баланса.



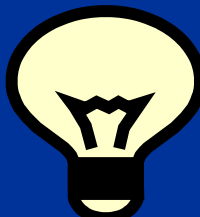
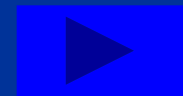
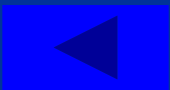
## Тема 6



### 6.2 Второй закон термодинамики



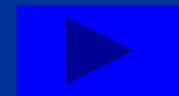
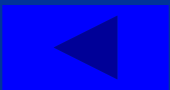
### 6.3 Принцип действия тепловых двигателей. КПД тепловых двигателей.



# Основы МКТ

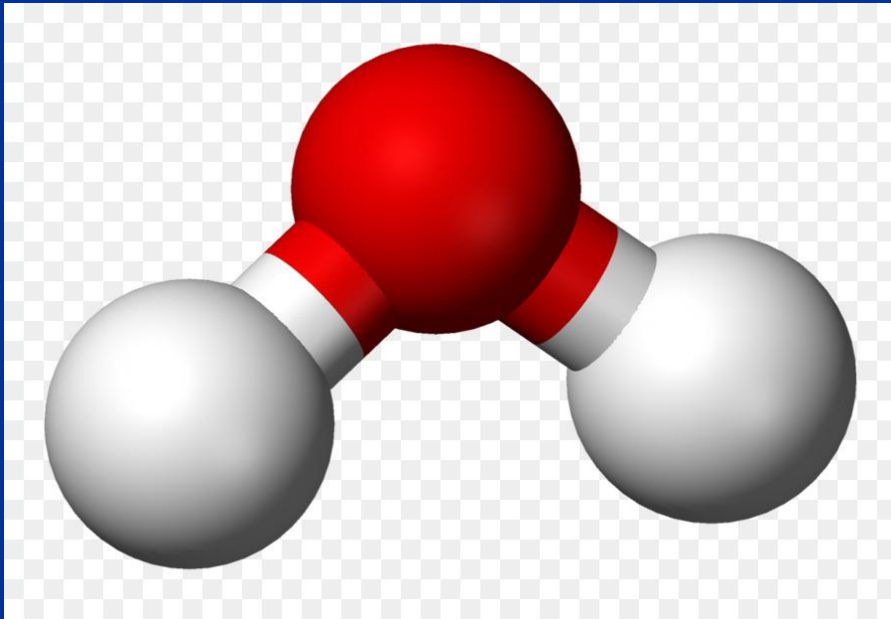
## Основные положения МКТ

1. Все вещества – жидкие, твердые и газообразные – образованы из мельчайших частиц – молекул, которые сами состоят из атомов («элементарных молекул»). Молекулы химического вещества могут быть простыми и сложными, т.е. состоять из одного или нескольких атомов.

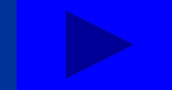
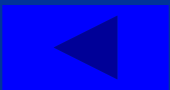
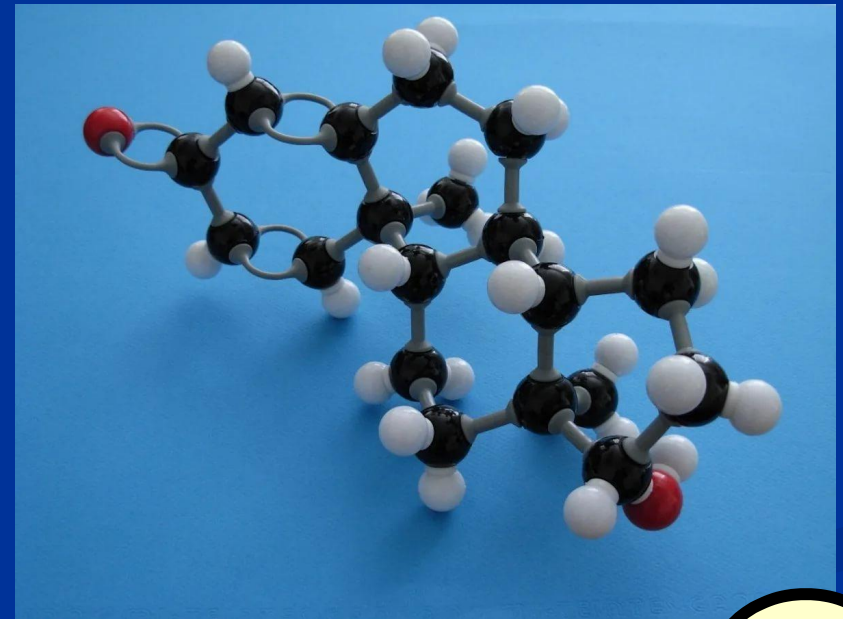


# Основы МКТ

Молекула воды:



Молекула сложного  
(многоатомного) белка:

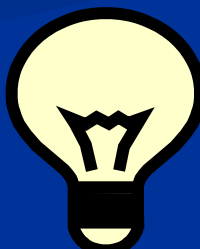
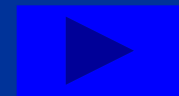
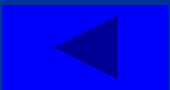


# Основы МКТ

## Основные положения МКТ

Молекулы и атомы представляют собой электрически нейтральные частицы. При определенных условиях молекулы и атомы могут приобретать дополнительный электрический заряд и превращаться в положительные или отрицательные ионы.

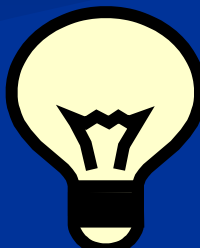
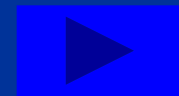
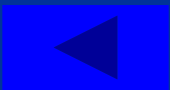
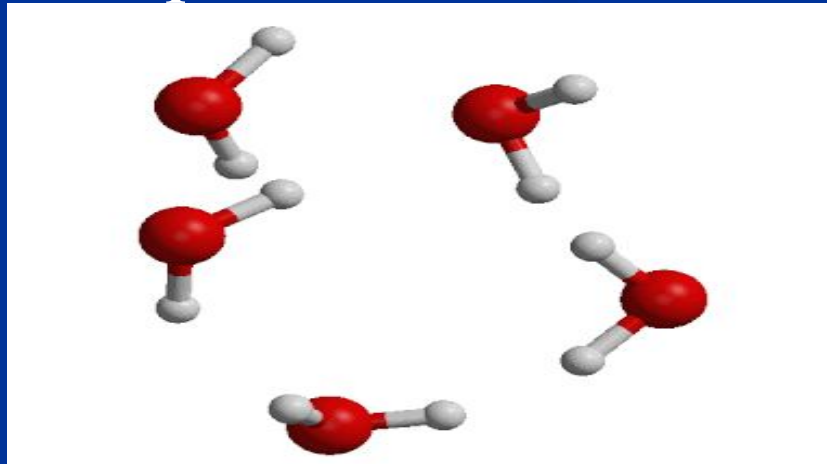
**Ионы** – заряженные частицы, образованные из атомов, в результате отдачи или принятия электронов.



## Основы МКТ

2. Атомы и молекулы находятся в непрерывном хаотическом движении.

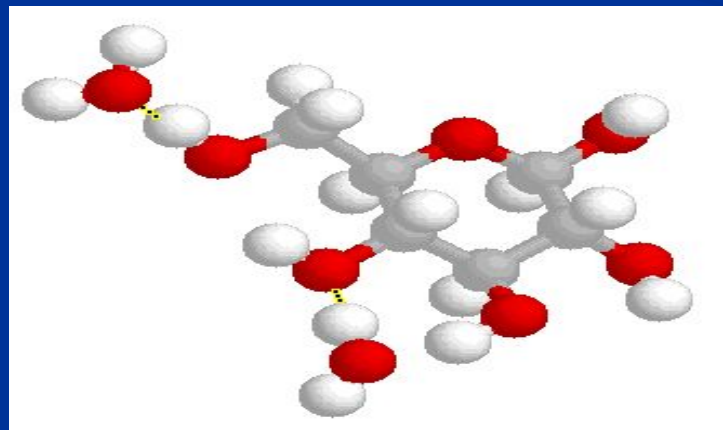
3. Частицы взаимодействуют друг с другом силами, имеющими электрическую природу. Гравитационное взаимодействие между частицами пренебрежимо мало.



# Основы МКТ

## Размеры молекул.

Молекулы, как и атомы, не имеют чётких границ. Если представить молекулу в виде шарика, то её радиус имеет значение от 0,1 нм у простейших до 100 нм у сложных молекул, состоящих из нескольких тысяч атомов. Например, оценочный диаметр молекулы водорода составляет 0,2 нм, а диаметр молекулы воды — 0,3 нм.

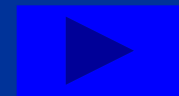
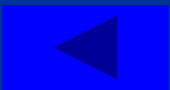


# Основы МКТ

## Броуновское движение

**Броуновское движение** (брауновское движение) — беспорядочное движение микроскопических видимых взвешенных частиц твёрдого вещества в жидкости или газе , вызываемое тепловым движением частиц жидкости или газа. Было открыто в 1827 году Робертом Броуном (правильнее Брауном).

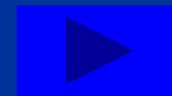
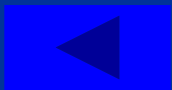
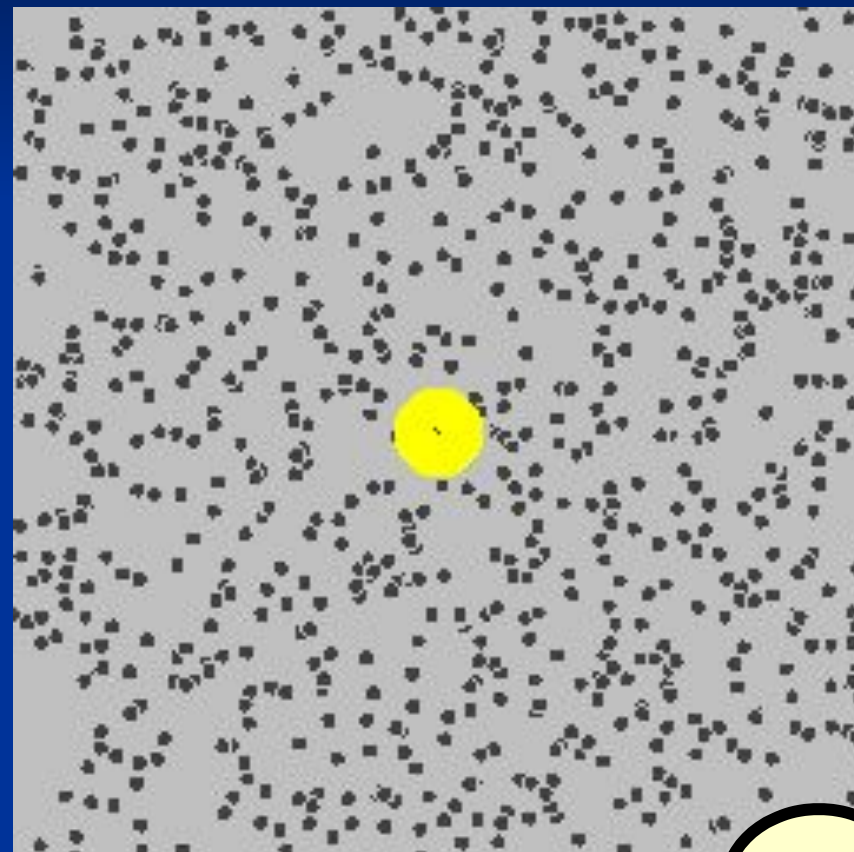
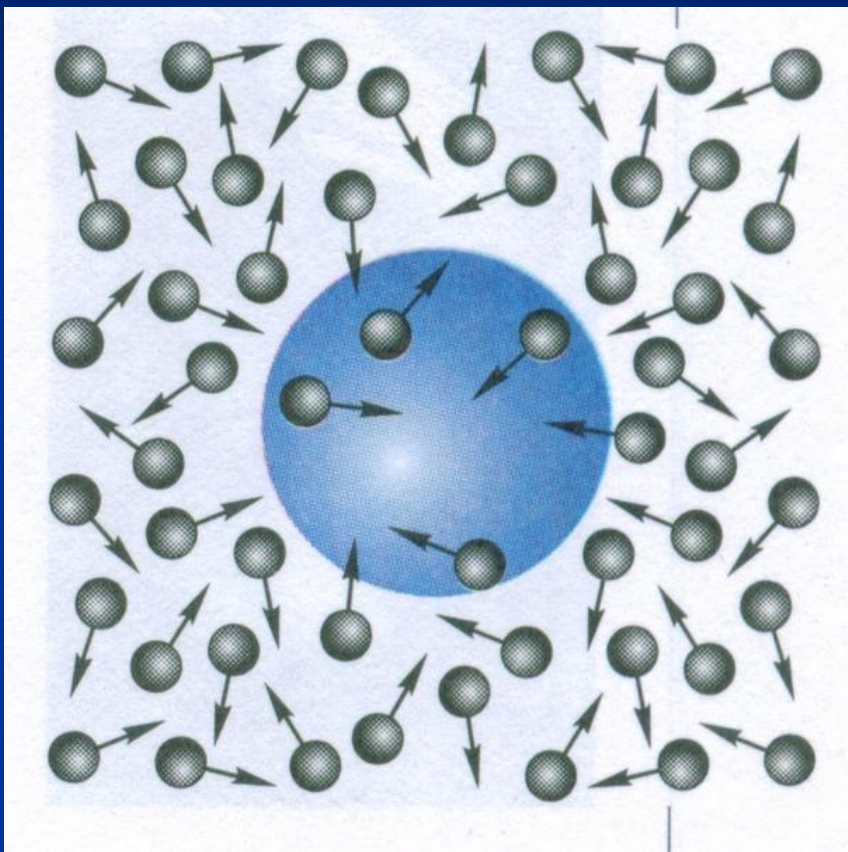
**Броуновское движение** – тепловое движение, которое не может прекратиться. С увеличением температуры его интенсивность растёт.





# Основы МКТ

## Броуновское движение



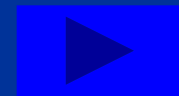
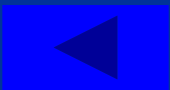
# Основы МКТ

## *Броуновское движение*

**Причиной броуновского движения** является то, что удары молекул жидкости о частицу не компенсируют друг другом.

**Опыт Перрена:** Идея опытов Перрена состоит в следующем. Известно, что концентрация молекул газа уменьшается с высотой. Если бы не было теплового движения, то все молекулы упали бы на Землю и атмосфера исчезла бы.

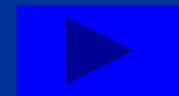
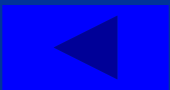
На следующем слайде продолжение опыта:



# Основы МКТ

## *Броуновское движение (Опыт Перрена)*

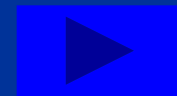
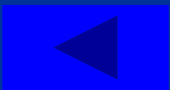
Однако если бы не было притяжения к Земле, то за счет теплового движения молекулы покидали бы Землю, так как газ способен к неограниченному расширению. В результате действия этих противоположных факторов устанавливается определенное распределение молекул по высоте, о чем сказано выше, т. е. концентрация молекул довольно быстро уменьшается с высотой. Причем, чем больше масса молекул, тем быстрее с высотой убывает их концентрация.



# Основы МКТ

## Опыт Перрена

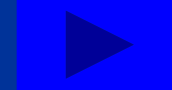
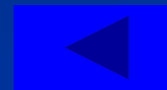
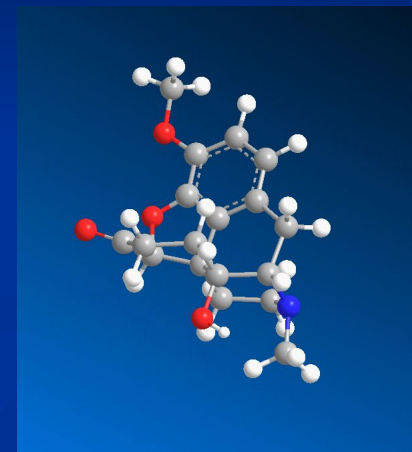
Подсчитывая концентрацию частиц на разных высотах, Перрен нашел, что эта концентрация убывает с высотой по тому же закону, что и концентрация молекул газа. Отличие в том, что за счет большой массы броуновских частиц убывание происходит очень быстро. Подсчет броуновских частиц на разных высотах позволил Перрену определить постоянную Авогадро совершенно новым методом. Значение этой постоянной совпало с известным. ( $6,02 \cdot 10^{23}$ )



# Основы МКТ

## Силы взаимодействия молекул. Строение газообразных, жидких и твёрдых тел.

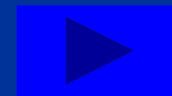
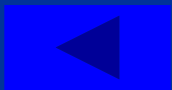
Между молекулами любого вещества действуют силы взаимодействия или молекулярные силы. Эти силы имеют электромагнитную природу. Так как массы молекул очень малы, ничтожно малые силы гравитационного взаимодействия между молекулами можно не рассматривать. Каждая молекула представляет собой сложную систему, состоящую из заряженных частиц: электронов и атомных ядер.



# Основы МКТ

## Силы взаимодействия молекул

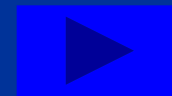
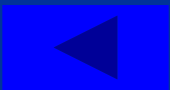
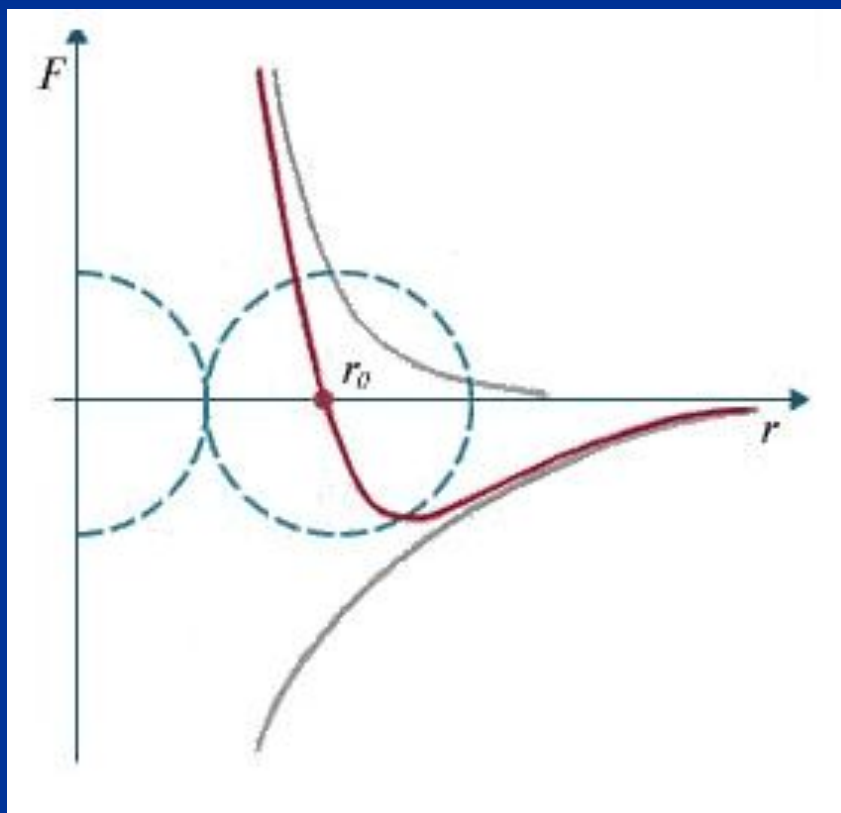
При взаимодействии молекул одновременно действуют как силы притяжения их разноименных зарядов, так и силы отталкивания одноименных. И те, и другие с увеличением расстояния между молекулами быстро уменьшаются. Однако убывание сил отталкивания должно быть более быстрым, чем сил притяжения, в результате чего силы отталкивания будут преобладать на малых расстояниях между молекулами, а силы притяжения – на более дальних расстояниях.



# Основы МКТ

## Силы взаимодействия молекул

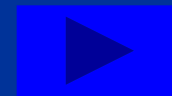
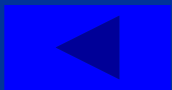
На рисунке изображена зависимость силы взаимодействия молекул от расстояния между ними.



# Основы МКТ

## Силы взаимодействия молекул

Как видно из рисунка, на очень больших расстояниях электромагнитного взаимодействия между молекулами практически нет. При сближении молекул, оставаясь в целом электрически нейтральными, молекулы будут ориентироваться таким образом, что их обращённые друг к другу стороны будут иметь разноимённые заряды. В результате между молекулами будут возникать силы притяжения. При дальнейшем сближении молекул силы притяжения между ними будут возрастать.

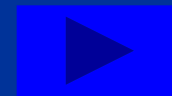
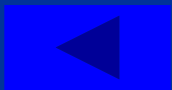




# Основы МКТ

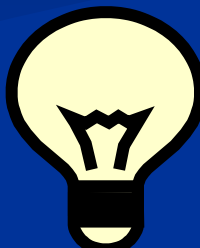
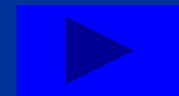
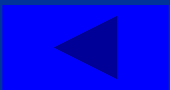
## Силы взаимодействия молекул

Если молекулы сблизятся до такой степени, что их электронные облака начнут заметно проникать друг в друга, то электроны и ядра различных молекул будут резко отталкиваться с силой, которая очень быстро растет с уменьшением расстояния между молекулами. На таких расстояниях будут преобладать силы отталкивания. Таким образом, на каждую молекулу действует сумма сил притяжения и отталкивания.



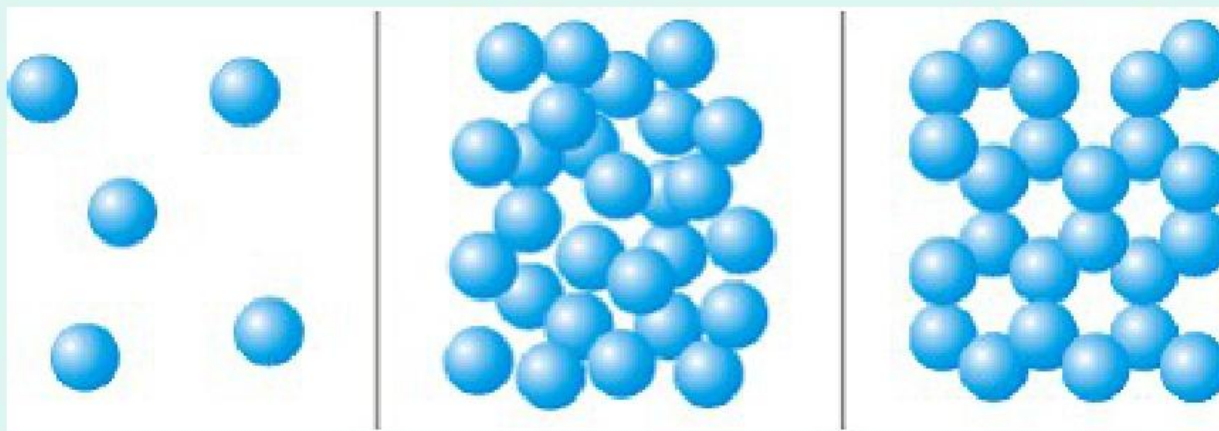
## Основы МКТ

На больших расстояниях преобладает сила притяжения (на расстоянии 2-3 диаметров молекулы притяжение максимально), на малых расстояниях сила отталкивания. Существует такое расстояние  $R$  между молекулами, на котором силы притяжения становятся равными силам отталкивания. Такое положение молекул называется положением устойчивого равновесия.



# Основы МКТ

## Строение газообразных тел



Газообразное  
состояние

Жидкое состояние

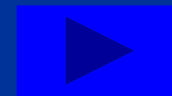
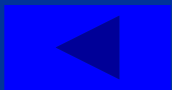
Твёрдое состояние



# Основы МКТ

## Строение газообразных тел

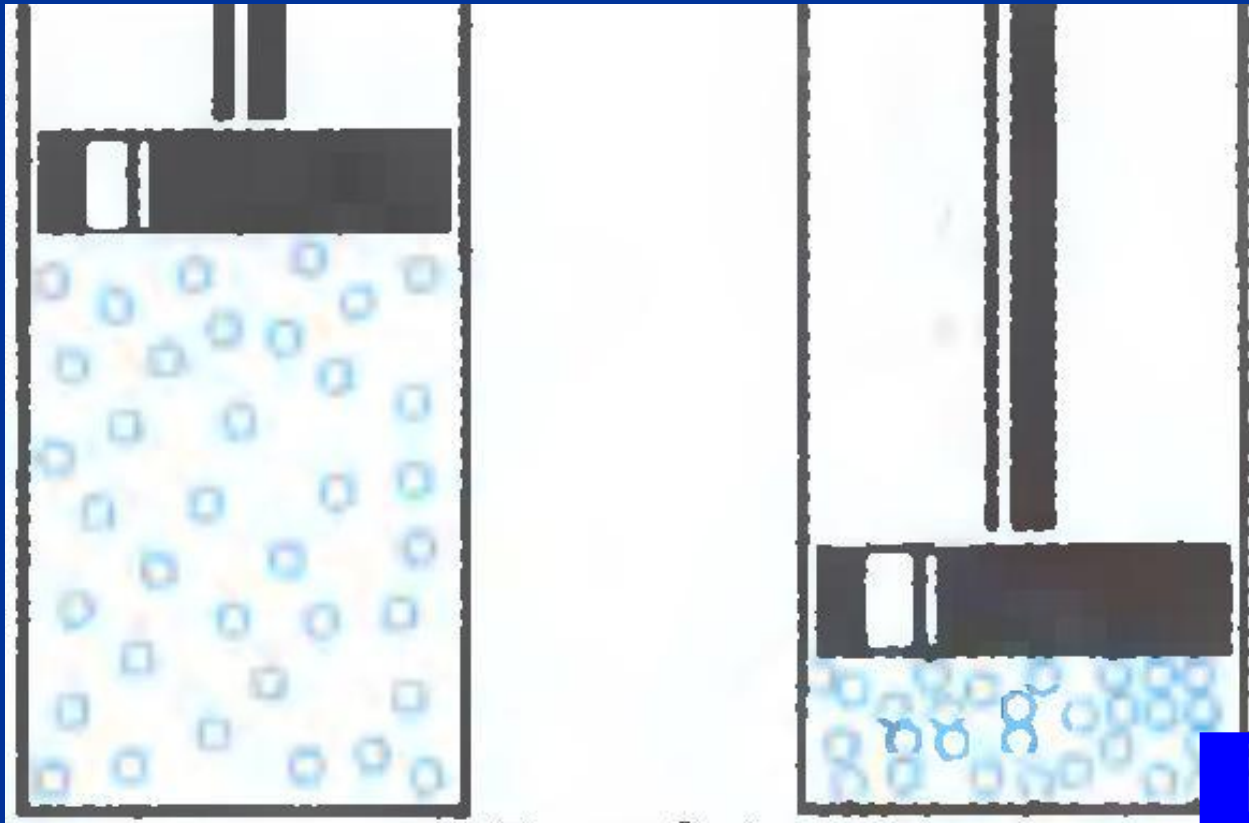
В газах расстояние между атомами или молекулами в среднем во много раз больше размеров самих молекул. Например, при атмосферном давлении объем сосуда в десятки тысяч раз превышает объем находящихся в нем молекул.



# Основы МКТ

## Строение газообразных тел

Газы легко сжимаются, при этом уменьшается среднее расстояние между молекулами, но форма молекулы не изменяется.

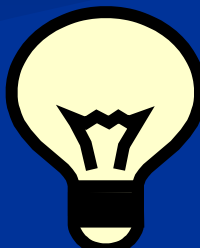
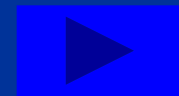
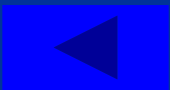


# Основы МКТ

## Строение газообразных

Молекулы с огромными скоростями - сотни метров в секунду - движутся в пространстве. Сталкиваясь, они отскакивают друг от друга в разные стороны подобно бильярдным шарам. Слабые силы притяжения молекул газа не способны удержать их друг возле друга. Поэтому газы могут неограниченно расширяться. Они не сохраняют ни формы, ни объема.

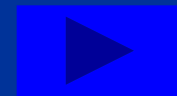
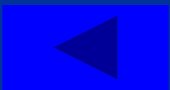
Давление газа создают многочисленные удары молекул о стенки сосуда



# Основы МКТ

## Строение жидкостей

Молекулы жидкости расположены почти вплотную друг к другу (см на рисунке далее), поэтому молекула жидкости ведет себя иначе, чем молекула газа. В жидкостях существует так называемый ближний порядок, т. е. упорядоченное расположение молекул сохраняется на расстояниях, равных нескольким молекулярным диаметрам. Молекула колеблется около своего положения равновесия, сталкиваясь с соседними молекулами.



# Основы МКТ

## Строение жидкостей

Лишь время от времени молекула жидкости совершает очередной «прыжок», попадая в новое положение равновесия. В этом положении равновесия сила отталкивания равна силе притяжения, т. е. суммарная сила взаимодействия молекулы равна нулю.

Время оседлой жизни молекулы воды, т. е. время ее колебаний около одного определенного положения равновесия при комнатной температуре, равно в среднем  $10^{-11}$  с, а одного колебания:

от  $10^{-12}$  до  $10^{-13}$  секунд.

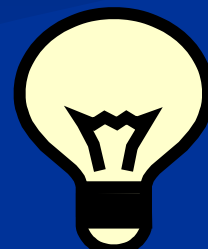
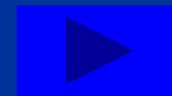
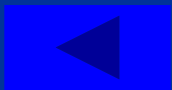




# Основы МКТ

## Строение жидкостей

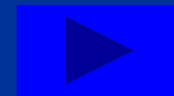
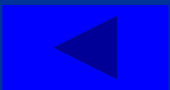
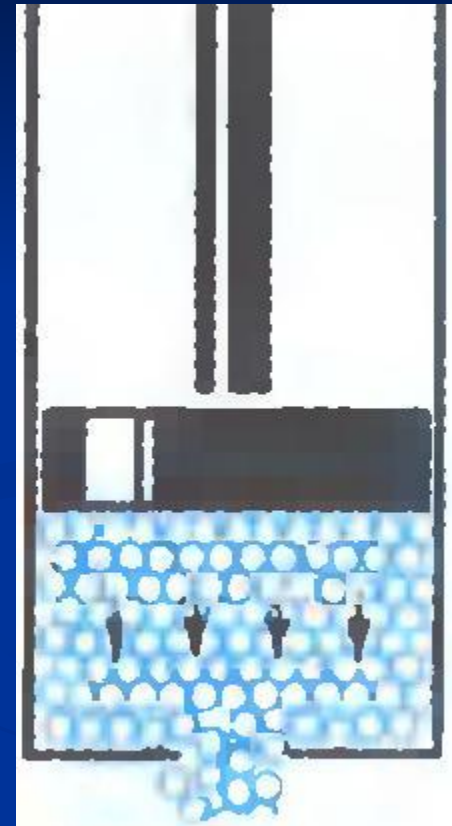
Характер молекулярного движения в жидкостях, впервые установленный советским физиком Я.И.Френкелем, позволяет понять основные свойства жидкостей. Молекулы жидкости находятся непосредственно друг возле друга. При уменьшении объема силы отталкивания становятся очень велики. Этим и объясняется малая сжимаемость жидкостей.



# Основы МКТ

## Строение жидкости

Как известно, жидкости текучи, т. е. не сохраняют своей формы. Объяснить это можно так. Внешняя сила заметно не меняет числа перескоков молекул в секунду. Но перескоки молекул из одного оседлого положения в другое происходят преимущественно в направлении действия внешней силы (показано на рисунке). Вот почему жидкость течет и принимает форму сосуда.

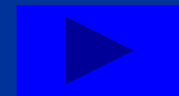
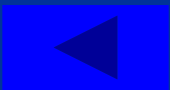


# Основы МКТ

## Строение твёрдых тел

Атомы или молекулы твердых тел, в отличие от атомов и молекул жидкостей, колеблются около определенных положений равновесия. По этой причине твердые тела сохраняют не только объем, но и форму. Потенциальная энергия взаимодействия молекул твёрдого тела существенно больше их кинетической энергии.

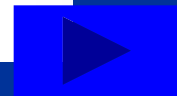
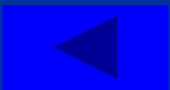
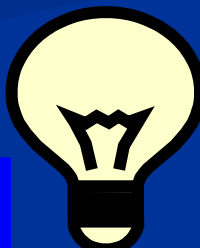
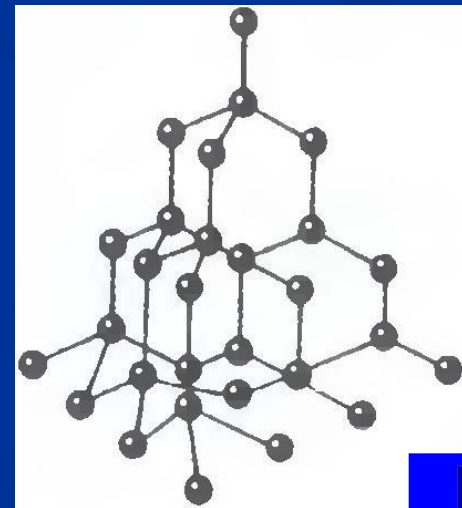
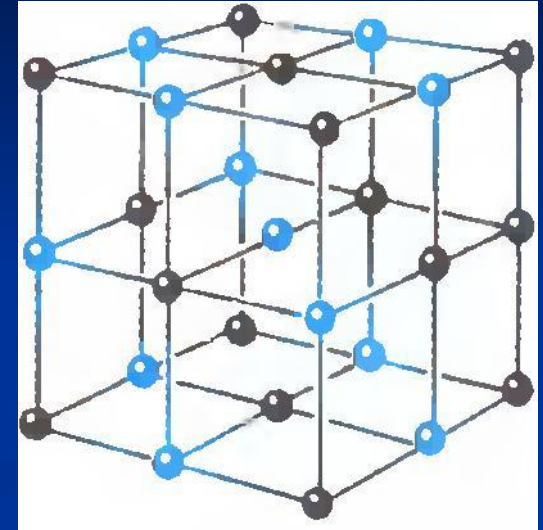
Если соединить центры положений равновесия атомов или ионов твердого тела, то получится правильная пространственная решетка, называемая кристаллической.



# Основы МКТ

## Строение твёрдых тел

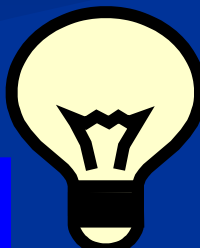
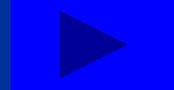
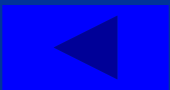
На рисунках изображены кристаллические решетки поваренной соли и алмаза. Внутренний порядок в расположении атомов кристаллов приводит к правильным внешним геометрическим формам.



МКТ идеального газа

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

**ИНФОРМАЦИЮ СЮДА!!!**



## МКТ идеального газа

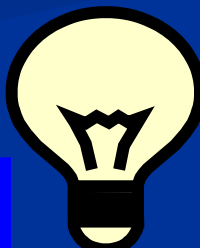
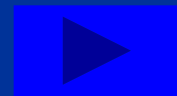
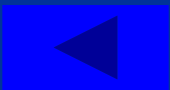
### Основное уравнение МКТ газов

Основное уравнение МКТ можно записать в другом виде, в котором давление связывается не с массой и скоростью молекулы, а с их комбинацией, то есть со средней кинетической энергией одной молекулы.

$$E_{\text{ср}} = \frac{m_0 V_{\text{ср}}^2}{2}$$



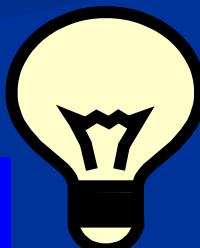
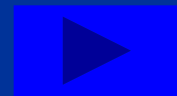
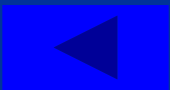
$$p = \frac{2}{3} n \bar{E}_e$$



## МКТ идеального газа

### Температура и тепловое равновесие

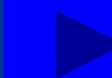
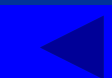
Температура характеризует степень нагретости тела (холодное, теплое, горячее). Для ее измерения был создан прибор, называемый термометром. В его устройстве использовано свойство тел изменять объем при нагревании или охлаждении.



## МКТ идеального газа

### Тепловое равновесие

Для измерения температуры тела человека нужно подержать медицинский термометр под мышкой 5-8 мин. За это время ртуть в термометре нагревается и уровень ее повышается. По длине столбика ртути можно определить температуру. Термометр никогда не покажет температуру тела сразу же после того, как он соприкоснулся с ним. Необходимо некоторое время для того, чтобы температуры тела и термометра выровнялись и между телами установилось тепловое равновесие, при котором температура перестает изменяться.

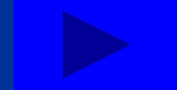
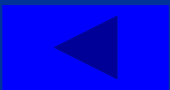
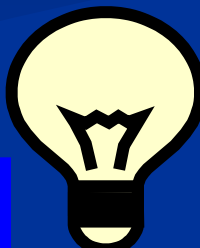
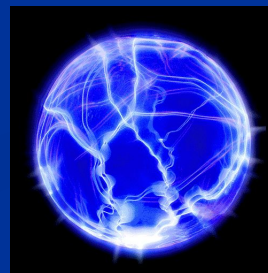




# МКТ идеального газа

## Тепловое равновесие

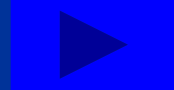
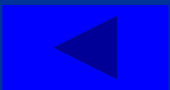
Тепловое равновесие с течением времени устанавливается между любыми телами, имеющими различную температуру. Бросьте в стакан с водой кусочек льда и закройте стакан плотной крышкой. Лед начнет плавиться, а вода охлаждаться. Когда лед растает, вода начнет нагреваться: после того как она примет температуру окружающего воздуха, никаких изменений внутри стакана с водой происходить не будет.



# МКТ идеального газа

## Тепловое равновесие

Тепловым равновесием называют такое состояние тел, при котором все макроскопические параметры сколь угодно долго остаются неизменными. Это означает, что в системе не меняются объем и давление, не происходит теплообмен, отсутствуют взаимные превращения газов, жидкостей, твердых тел и т. д. В частности, не меняется объем столбика ртути в термометре, т. е. температура системы остается постоянной.



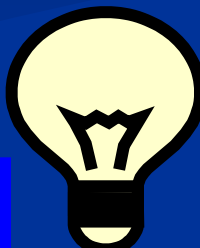
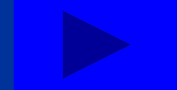
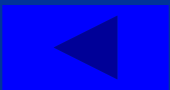
# МКТ идеального газа

## Определение температуры.

### Энергия теплового движения молекул.

Из определения температуры следует, что она не может быть количественно измерена непосредственно и судить о ней можно по изменению других физических свойств тел (объема, давления, электрического сопротивления, интенсивности излучения и т.д.).

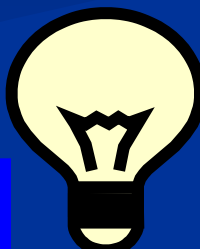
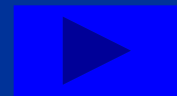
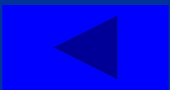
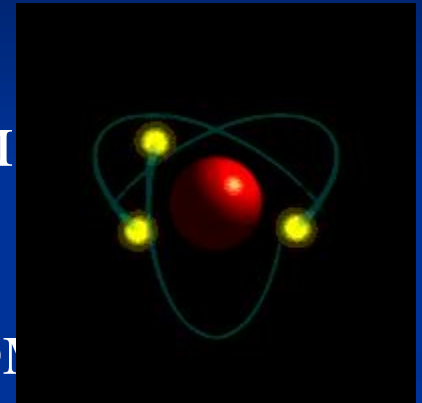
В зависимости от диапазона измеряемых температур различают две основные группы методов измерения: (см следующий слайд)



# МКТ идеального газа

## Определение температуры

- контактные (собственно термометрия)
  - жидкостные, манометрические, термоэлектрические термометры, термометры сопротивления и др.
- безконтактные (пирометрия или термометрия излучения), применяемые в основном для измерения очень высоких температур - для измерения криогенных температур используются также газовые, акустические и магнитные термометры.



# МКТ идеального газа

## Контактные методы измерения температуры

Жидкостный градусник

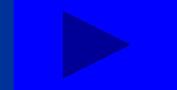
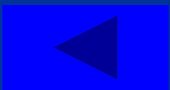
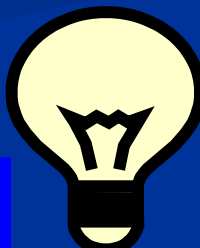
(рис. 1)

термометр



(рис.

ДОДЕЛАТЬ2)

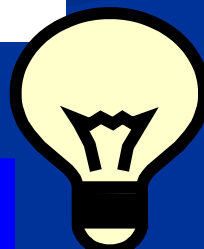
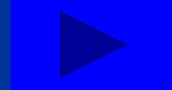
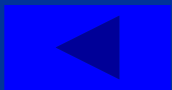


## МКТ идеального газа

# Контактные методы измерения температуры

Механический термометр

Манометрический



# МКТ идеального газа

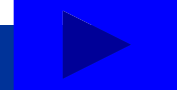
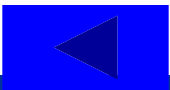
## Бесконтактные методы измерения температуры

Инфракрасный пирометр |

(рис. 5)



Оптический пирометр  
(рис. 6)



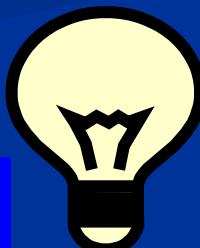
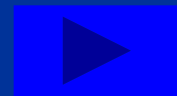
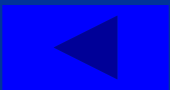
# МКТ идеального газа

## Определение температуры

Кроме того, в системах, не требующих высокой точности измерений, в определенном диапазоне температур широко используются полупроводниковые датчики температуры на диодах, транзисторах и специальных интегральных микросхемах.

Температура связана с субъективными ощущениями «тепла» и «холода», связанными с тем, отдаёт ли живая ткань тепло или получает его.

**Абсолютная температурная шкала** — шкала температур, в которой за начало отсчёта принят абсолютный нуль. Температура здесь обозначается буквой  $T$  и измеряется в кельвинах (К).





## МКТ идеального газа

### Определение температуры

Для перевода температуры из градусы Цельсия в Кельвины необходимо прибавить 273 к результату измерений:

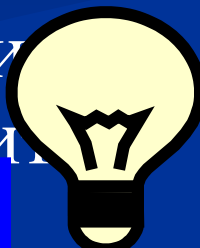
$$T \text{ (К)} = (t + 273) \text{ (}^\circ\text{C)} \text{ или } t = (T - 273) \text{ }^\circ\text{C}$$

**Абсолютный нуль** – температура, при которой прекращается тепловое движение молекул.

**Давление газа** прямо пропорционально концентрации его молекул и абсолютной температуре  $T$ .

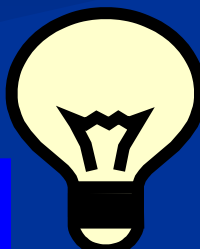
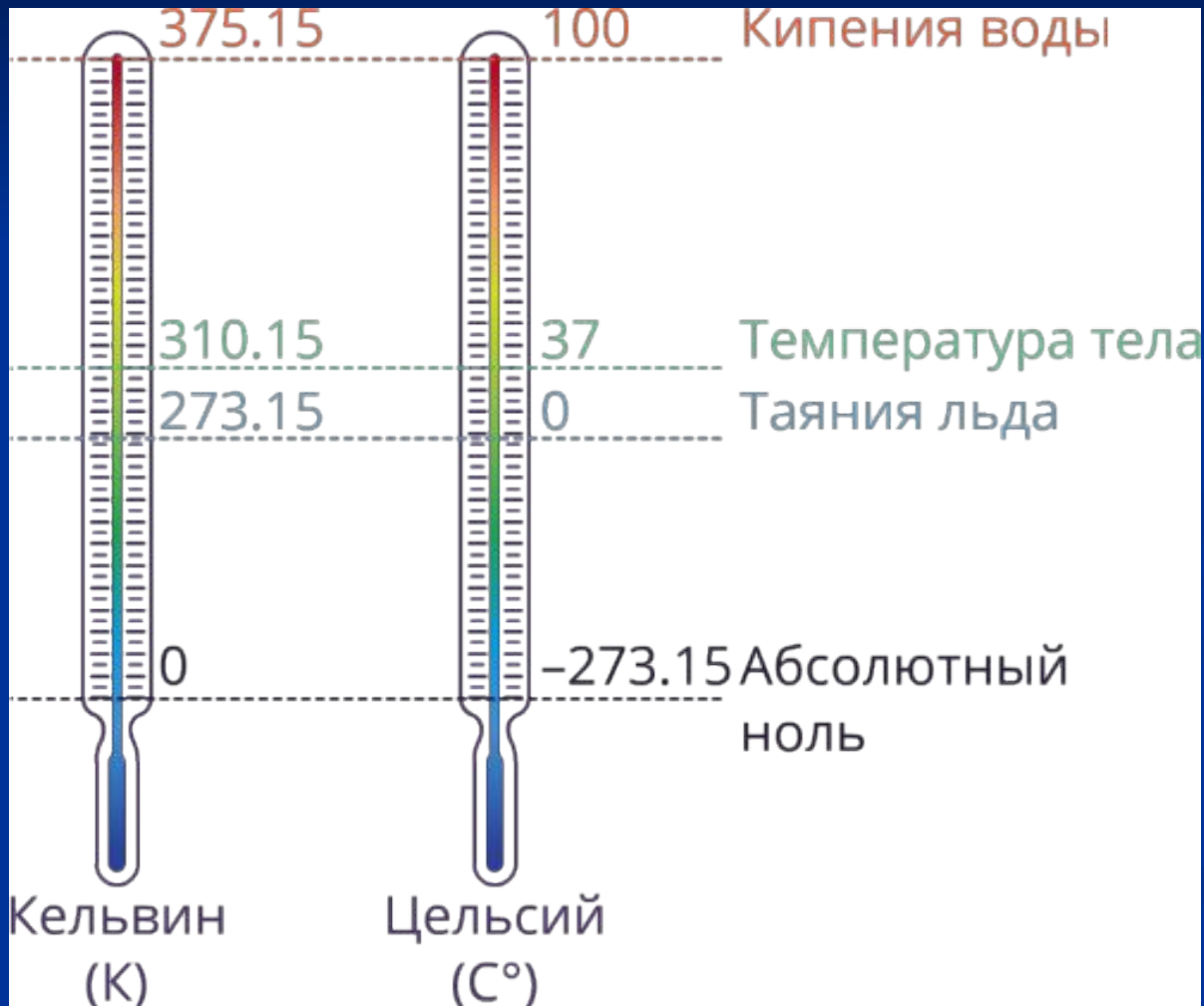
**Закон Авогадро** – в равных объёмах газов при одинаковых температурах и давлениях содержится

равное число молекул.



# МКТ идеального газа

## Определение температуры



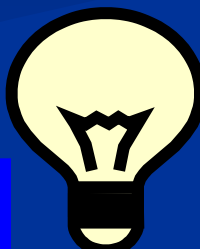
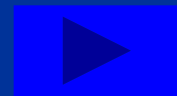
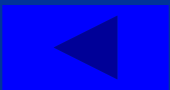
## МКТ идеального газа

### Энергия теплового движения молекул

При тепловом равновесии, если давление и объём газа массой  $m$  постоянны, то средняя кинетическая энергия молекул газа должна иметь строго определённое значение, как и температура.

Формула для вычисления кинетической энергии молекул газа состоит из следующего:

$$\overline{E} = \frac{3}{2} \frac{pV}{N} = \frac{3pMV}{2mN_A}$$



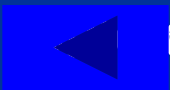
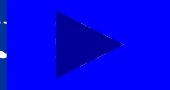
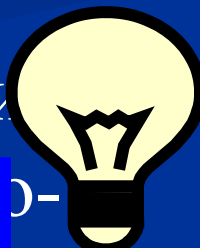
## МКТ идеального газа

### Энергия теплового движения молекул

Если кинетическая энергия действительно одинакова для всех газов в состоянии теплового равновесия, то и значение давления  $p$  должно быть тоже одинаково для всех газов при постоянном значении отношения объёма к числу молекул.

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

Теперь выведем ещё одну зависимость температуры от средней кинетической энергии молекул. Из основного уравнения молекулярной кинетики



## МКТ идеального газа

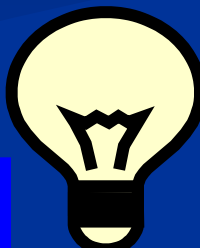
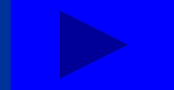
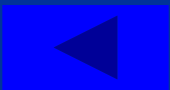
### Энергия теплового движения молекул

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

$$\frac{pV}{N} = \theta \text{ или } \frac{pV}{N} = kT$$

Здесь видно, что левые части уравнений равны, значит и правые равны тоже:

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



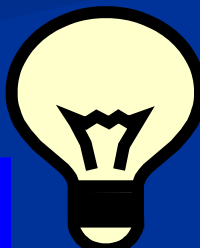
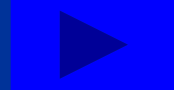
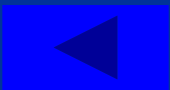
## МКТ идеального газа

### Энергия теплового движения молекул

Средняя кинетическая энергия хаотического поступательного движения молекул газа пропорциональна абсолютной температуре.

Абсолютная температура есть мера средней кинетической энергии движения молекул.

Из выведенных формул мы можем получить выражение, которое показывает зависимость давления газа от концентрации молекул и температуры: (см следующий слайд).



## МКТ идеального газа

### Энергия теплового движения молекул

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

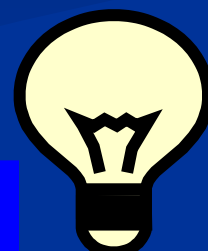
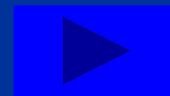
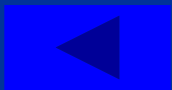


$$p = \frac{NkT}{V} \text{ или}$$



$$p = nkT$$

Из этой зависимости вытекает, что при одинаковых давлениях и температурах концентрация молекул у всех газов одна и та же. Отсюда следует закон Авогадро, известный нам из курса химии.



# МКТ идеального газа

## Измерение скоростей молекул газа

Уравнение  
найти

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

даёт возможность

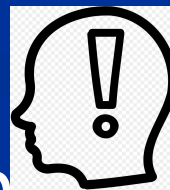
средний квадрат скорости молекулы.

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

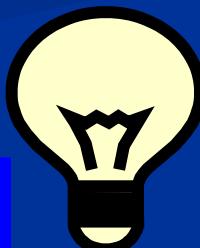
Подставив в это уравнение, получим

В  $\bar{v}^2 = 3 \frac{kT}{m_0}$  для среднего значения квадрата скорости.

$$\bar{v}_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}.$$



Средней квадратичной скоростью называют



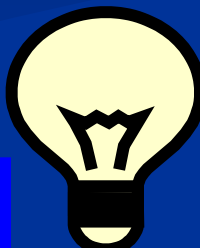
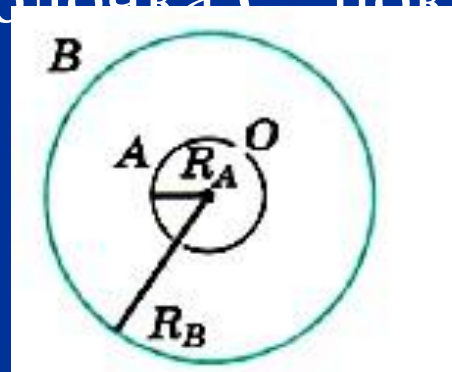


# МКТ идеального газа

## Измерение скоростей молекул газа

### Опыт Штерна

Прибор Штерна состоит из двух цилиндров А и В, обладающих общей осью, жёстко связанных друг с другом (см. рис.). Цилиндры могут вращаться с постоянной угловой скоростью. Вдоль оси малого цилиндра натянута тонкая платиновая проволока С, покрытая слоем серебра.



# МКТ идеального газа

## Измерение скоростей молекул газа

### Опыт Штерна

По проволочке пропускают электрический ток. В стенке этого цилиндра имеется узкая щель  $O$ . Воздух из цилиндров откачан. Цилиндр  $B$  находится при комнатной температуре. Вначале прибор неподвижен. При прохождении тока по нити она нагревается и при температуре  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$  атомы серебра испаряются. Внутренний цилиндр заполняется газом из атомов серебра. Некоторые атомы пролетают через щель  $O$  и, достигнув внутренней поверхности цилиндра  $B$ , осаждаются на ней. В результате прямо против щели об

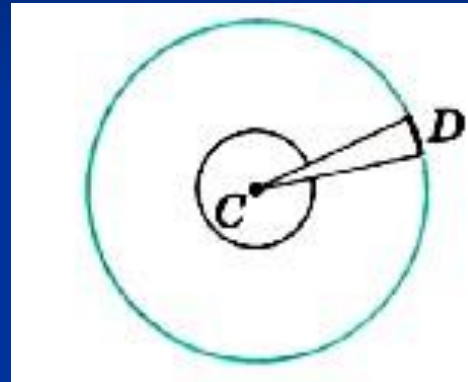


# МКТ идеального газа

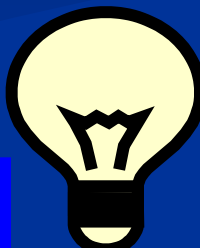
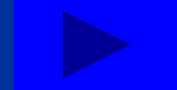
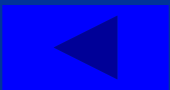
## Измерение скоростей молекул газа

### Опыт Штерна

Рисунок 9.7 (Б):



Затем цилиндры приводят во вращение с большим числом оборотов  $n$  в секунду (до 1500 1/с).



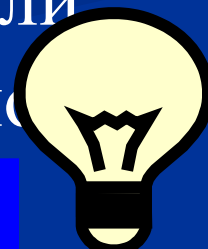
# МКТ идеального газа

## Измерение скоростей молекул газа

### Опыт Штерна

Теперь за время  $t$ , необходимое атому для прохождения пути, равного разности радиусов цилиндров  $R_B - R_A$ , цилиндры повернутся на некоторый угол  $\varphi$ . В результате атомы, движущиеся с постоянной скоростью, попадают на внутреннюю поверхность большого цилиндра не прямо против щели  $O$  (рис. 9.7, в), а на некотором расстоянии  $s$  от конца радиуса, проходящего через середину щели (рис. 9.7, г): ведь атомы движутся прямолинейно.

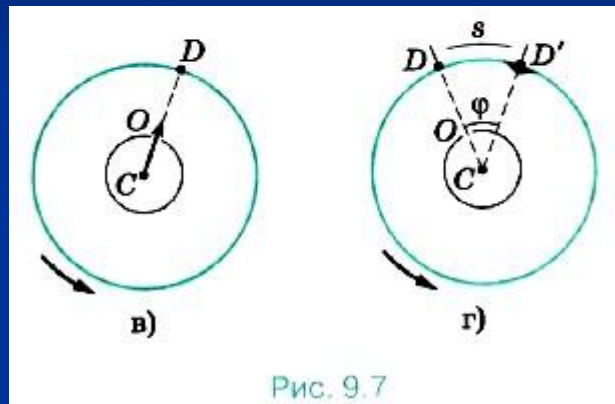
Как изображены на следующем слайде



# МКТ идеального газа

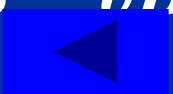
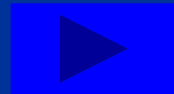
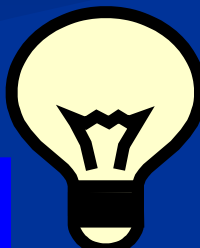
## Измерение скоростей идеального газа

### Опыт Штерна



Если через « $vB$ » обозначить модуль скорости вращения точек поверхности внешнего цилиндра, то:

$$S = vBt = 2\pi nRvt.$$



# МКТ идеального газа

## Измерение скоростей молекул газа

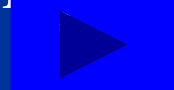
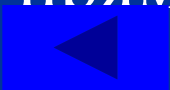
### Опыт Штерна

Модули скоростей, определённые из опыта, совпадают с теоретическим значением средней квадратичной скорости. Это служит экспериментальным доказательством справедливости формулы:

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

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

Следовательно и формулы  $\bar{v}_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$ , согласно которой средняя кинетическая энергия молекулы прямо пропорциональна абсолютной температуре.



# Уравнение состояния идеального газа.

## Газовые законы.

### Уравнение состояния идеального газа

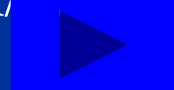
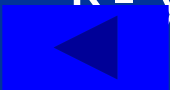
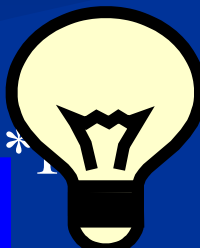
Основным уравнением, описывающим поведение идеального газа, является уравнение Менделеева-Клапейрона (уравнение состояния идеального газа):

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

Где  $p$ -давление газа;  $V$ -объём газа;  $m$ - масса газа;

$M$ -молярная масса;  $T$ - температура (Кельвин);

$R$ - универсальная газовая постоянная (8,31 Дж/моль\*К)



# Уравнение состояния идеального газа.

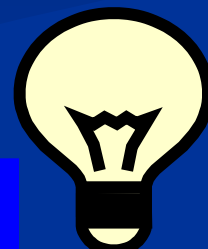
## Газовые законы.

Уравнение Менделеева-Клапейрона можно написать в различных формах. Например, в форме Больцмана:

$p = nkT$ , где  $n = N/V$  - концентрация газа;

Важно знать, что  $R = kNa$

Напоминаю, что все приведенные уравнения справедливы только для идеального газа (для реальных газов, близких к идеальным). В остальных случаях наблюдаются отклонения от газовых законов, вызванные взаимодействием молекул и конечностью их суммарного объема



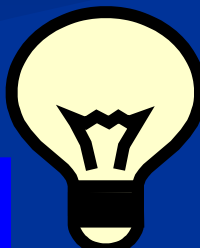
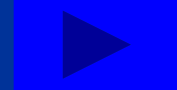
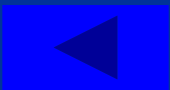


Уравнение состояния идеального газа.

Газовые законы.

## Газовые законы

1. Закон Бойля-Мариотта (изотермический процесс);
2. Закон Гей-Люссака (изобарный процесс);
3. Закон Шарля (изохорный процесс);

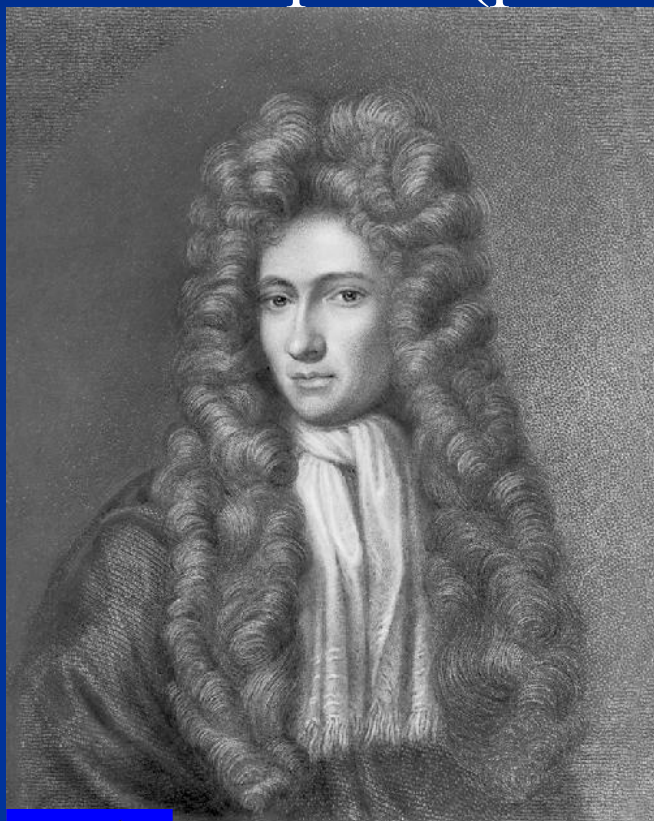


Уравнение состояния идеального газа.

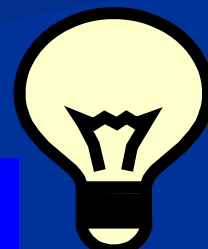
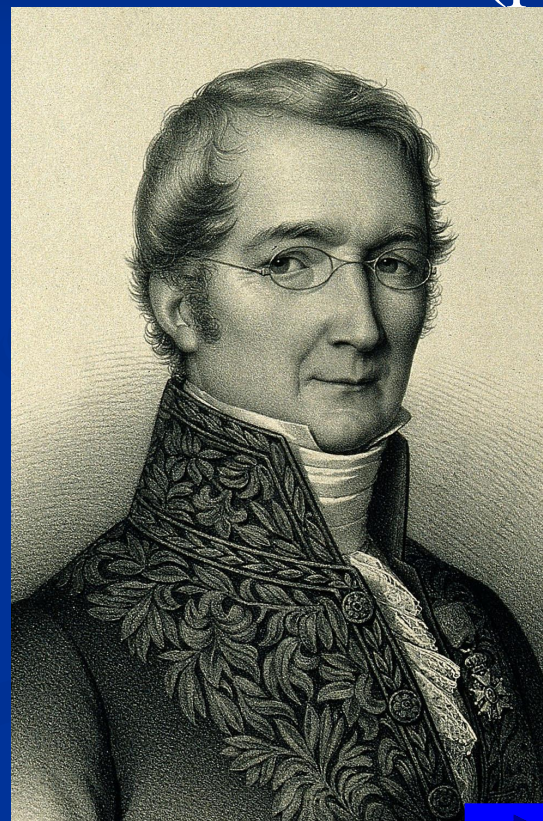
Газовые законы.

## Создатели газовых законов

Бойль-Мариот (рис. 1)

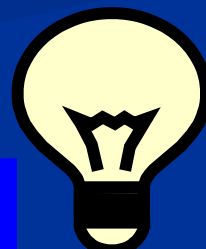
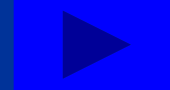
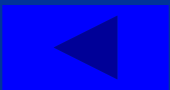


Гей – Люссак (рис. 2)



# Создатели газовых законов

Жак Александр Сезар Шарль (рис. 3)



# Уравнение состояния идеального газа.

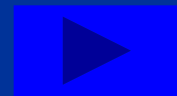
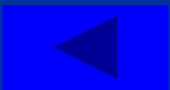
## Газовые законы.

### Закон Бойля-Мариотта (изотермический процесс)

Изотермическим процессом называют изменение состояния газа, при котором его температура остаётся постоянной.

Для неизменной массы газа при постоянной температуре произведение давления газа на объем есть величина постоянная:  **$pV = \text{const}$**

Этот же закон можно переписать в другом виде (для двух состояний идеального газа):  **$p_1V_1 = p_2V_2$**



# Уравнение состояния идеального газа.

## Газовые законы.

### Закон Бойля-Мариотта (изотермический процесс)

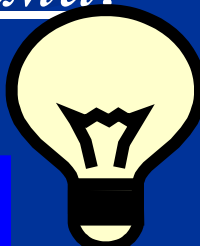
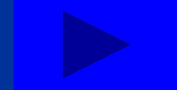
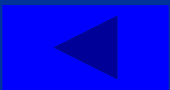
Предыдущее уравнение следует из:

Уравнение Менделеева-Клапейрона

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

Очевидно, что при неизменной массе газа и при постоянной температуре правая часть уравнения остается постоянной величиной.

Графики зависимости параметров газа при постоянной температуре называются изотермами.



# Уравнение состояния идеального газа.

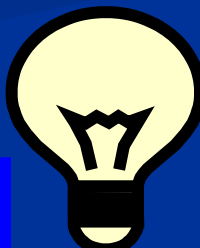
## Газовые законы.

### Закон Бойля – Мариотта

Обозначив константу буквой  $k_1$ , запишем функциональную зависимость давления от объема при изотермическом процессе:  $p=k_1/V$ .

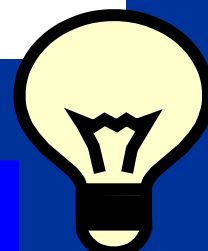
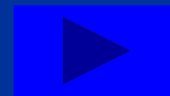
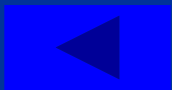
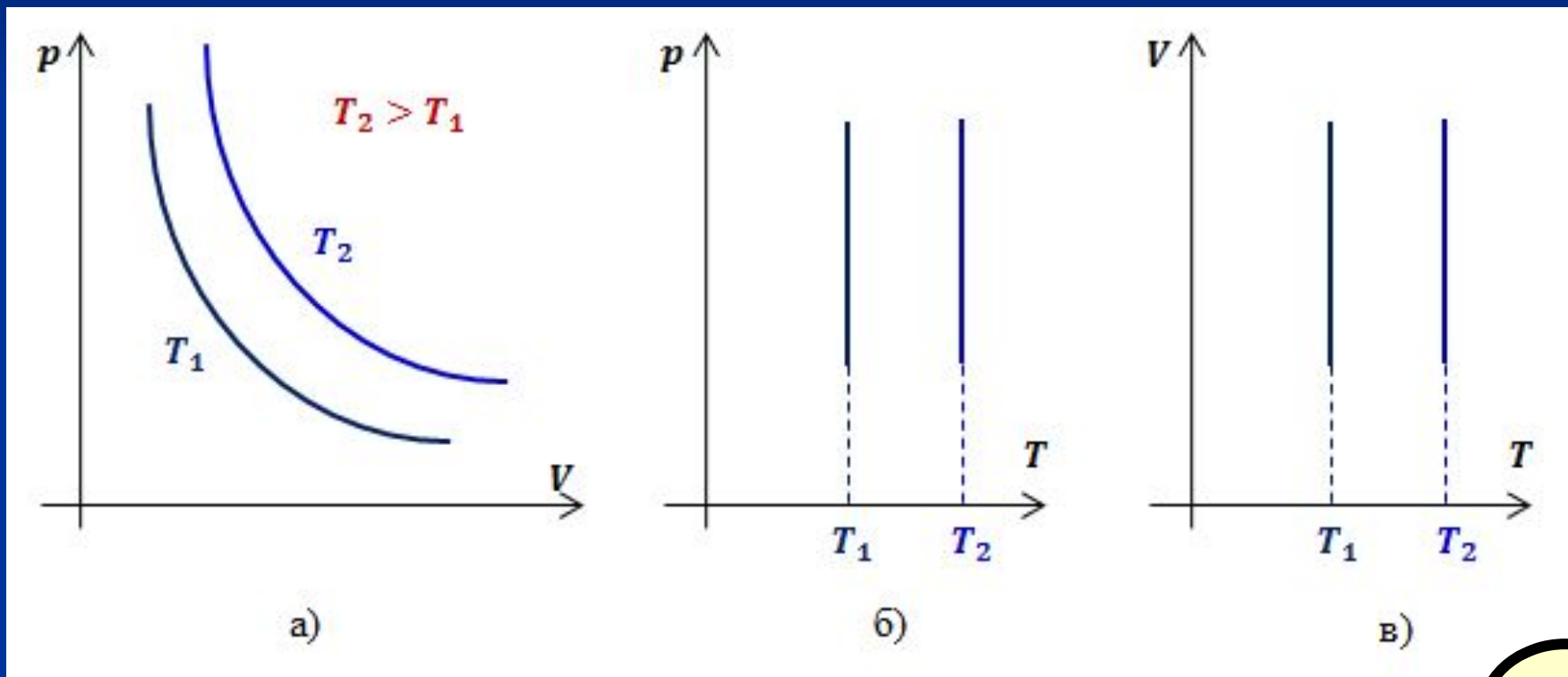
Видно, что давление газа обратно пропорционально его объему. Графиком обратной пропорциональности, а, следовательно, и графиком изотермы в координатах является гипербола (рис.1, а). На рис.1 б) и в) представлены изотермы в

динахах и соответственно.



Уравнение состояния идеального газа.  
Газовые законы.

**Закон Бойля – Мариотта**



Уравнение состояния идеального газа.  
Газовые законы.

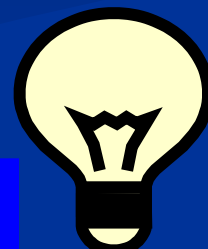
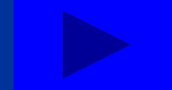
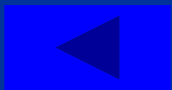
**Закон Гей-Люссака (изобарный процесс)**

Изобарным процессом называют изменение состояния газа, при котором его давление остаётся постоянным.

Для неизменной массы газа при постоянном давлении отношение объема газа к температуре есть величина постоянная:  $V/T = \text{const.}$

Этот закон также следует из уравнения Менделеева –

$$\frac{V}{T} = \text{const} = \frac{mR}{\mu} \times \frac{1}{p}$$





# Уравнение состояния идеального газа.

## Газовые законы.

### Закон Гей – Люссака

Графики зависимости параметров газа при постоянном давлении называются *изобарами*.

Рассмотрим два изобарных процесса с давлениями  $p_1$  и  $p_2$  ( $p_2 > p_1$ ). В координатах  $(p; T)$  и  $(p; V)$  изобары будут иметь вид прямых линий, перпендикулярных оси  $p$  (показано на рисунке далее).

Определим вид графика в координатах  $(V; T)$ .  
Обозначив константу буквой  $k_2$ ,



▶шем функциональную зависимость от ◀

# Уравнение состояния идеального газа.

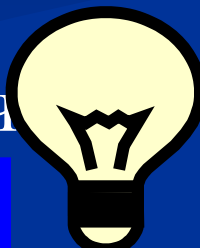
## Газовые законы.

### Закон Гей – Люссака

$$V=k2T$$

Видно, что при постоянном давлении объем газа прямо пропорционален его температуре. Графиком прямой пропорциональности, а, следовательно, и графиком изобары в координатах (V;T) является прямая, проходящая через начало координат (рис. «В») В реальности при достаточно низких температурах все газы превращаются в жидкости, к которым газовые законы уже неприменимы. Поэтому вблизи нач

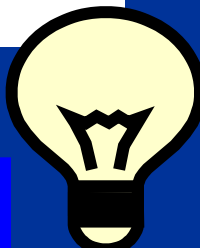
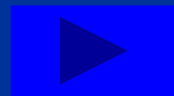
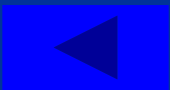
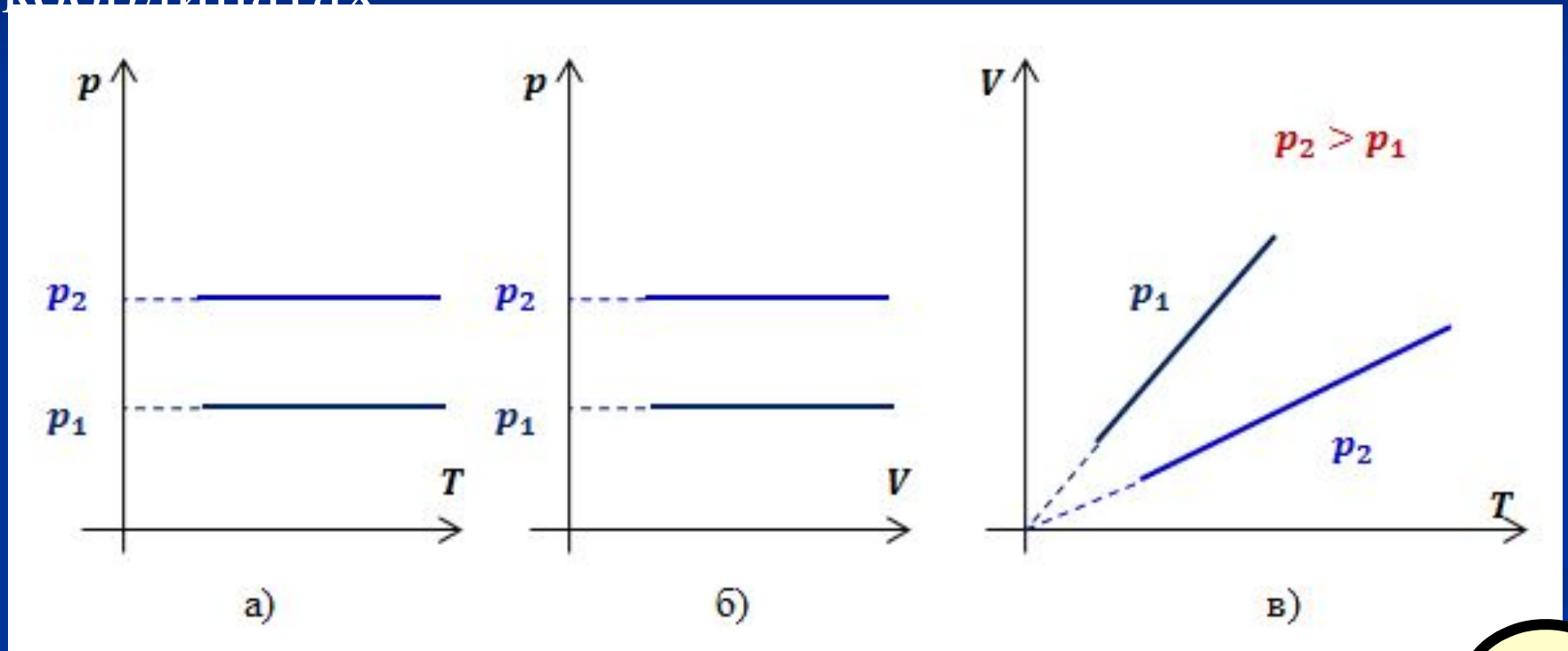
динат изобары (на рис «В») показаны



# Уравнение состояния идеального газа.

## Газовые законы.

Графики изобарных процессов в различных координатах:



# Уравнение состояния идеального газа.

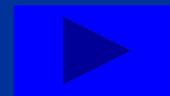
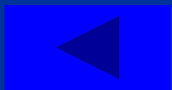
## Газовые законы.

### Закон Шарля (изохорный процесс)

Изохорным процессом называют изменение состояния газа, при котором его объем остаётся постоянным.

Для неизменной массы газа при постоянном объеме отношение давления газа к его температуре есть величина постоянная:  
 $p/T = \text{const.}$

Для двух состояний газа этот закон запишется в виде:  $p_1/T_1 = p_2/T_2$



# Уравнение состояния идеального газа.

## Газовые законы.

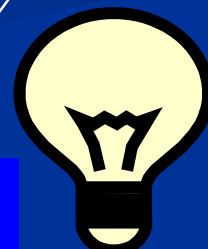
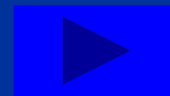
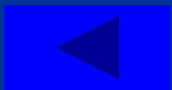
### Закон Шарля

Этот закон также можно получить из уравнения Менделеева – Клапейрона:

$$\frac{p}{T} = \text{const} = \frac{mR}{\mu} \times \frac{1}{V}$$

Графики зависимости параметров газа при постоянном давлении называются *изохорами*.

Рассмотрим два изохорных процесса с объемами  $V_1$  и  $V_2$ . В координатах  $(V; T)$  и  $(p; V)$  графиками изохор будут прямые, перпендикулярные оси  $V$  (рис «А» и «Б»).



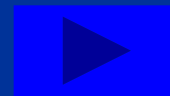
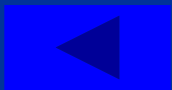
# Уравнение состояния идеального газа.

## Газовые законы.

### Закон Шарля

Для определения вида графика изохорного процесса в координатах  $(p; T)$  обозначим константу в законе Шарля буквой  $k_3$ , получим:  
 $p = k_3 T$ .

Таким образом, функциональная зависимость давления от температуры при постоянном объеме является прямой пропорциональностью, графиком такой зависимости является прямая, проходящая через начало координат (рис «В»).

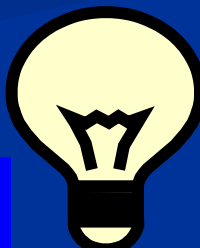
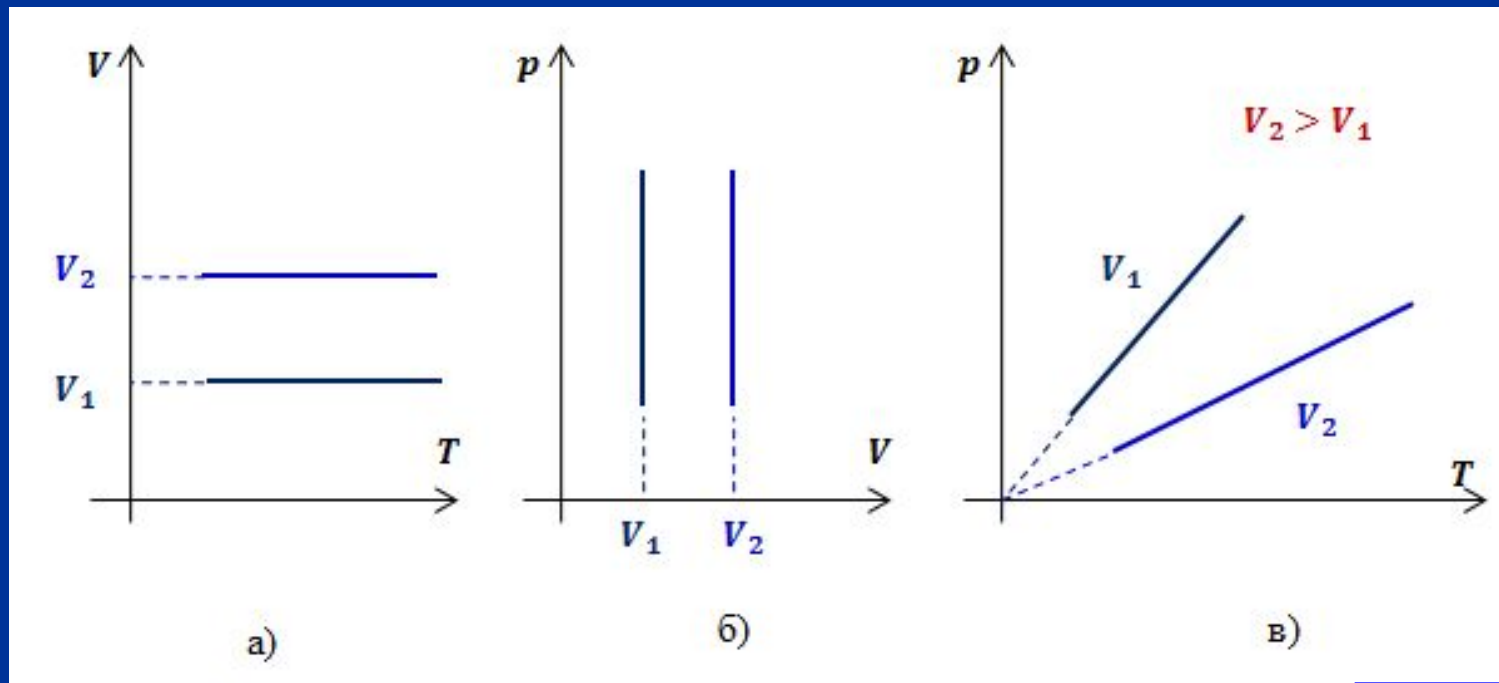


# Уравнение состояния идеального газа.

## Газовые законы.

### Закон Шарля

Графики изохорных процессов в различных координатах



# Взаимные превращения жидкостей и газов

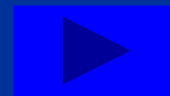
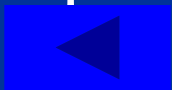
## Насыщенный пар

### Испарение:

Испарение - процесс превращения жидкости в пар.

При испарении жидкость покидают более быстрые молекулы, поэтому средняя кинетическая энергия молекул жидкости уменьшается.

Процесс испарения происходит со свободной поверхности жидкости. Если лишить жидкость возможности испаряться, то охлаждение её будет происходить гораздо медленнее.

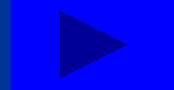
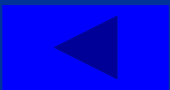
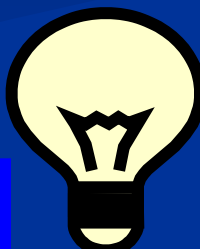




# Взаимные превращения жидкостей и газов

## Насыщенный пар

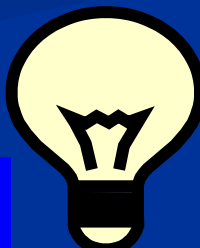
Плотно закрытый флакон с духами может стоять очень долго, и количество духов в нём не изменится. Если же флакон оставить открытым, то через достаточно продолжительное время вы увидите, что жидкости в нём нет. Жидкость, в которой растворены ароматические вещества, испарилась. Гораздо быстрее испаряется (высыхает) лужа на асфальте, особенно если высока температура воздуха и дует ветер.



# Взаимные превращения жидкостей и газов

## Насыщенный пар

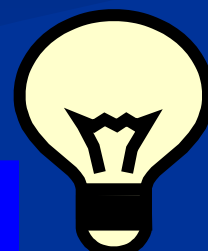
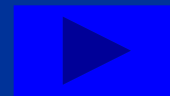
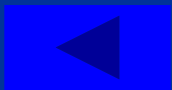
Процесс испарения:



# Взаимные превращения жидкостей и газов

## Насыщенный пар

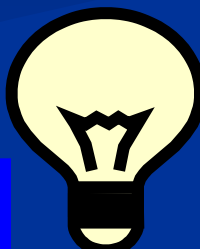
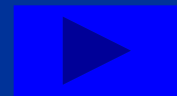
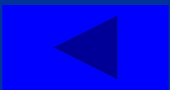
Испарение капли:



# Взаимные превращения жидкостей и газов

## Насыщенный пар

Смочив руку какой-нибудь быстро испаряющейся жидкостью (например, бензином или ацетоном), вы тут же почувствуете сильное охлаждение смоченного места. Охлаждение этого места усилится, если на руку подуть.



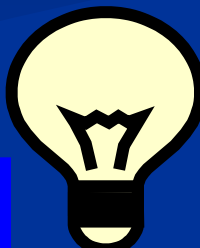
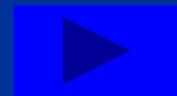
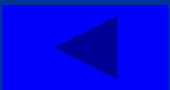
# Взаимные превращения жидкостей и газов

## Насыщенный пар

### Конденсация:

Конденсация - процесс превращения пара в жидкость.

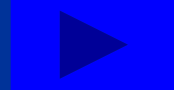
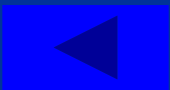
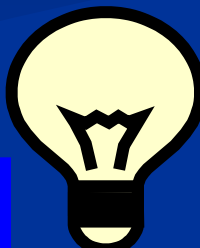
При этом процессе число молекул, возвращающихся в жидкость за определённый промежуток времени, больше числа молекул, покидающих её.



# Взаимные превращения жидкостей и газов

## Насыщенный пар

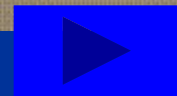
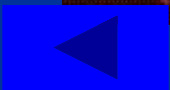
Процесс конденсации:



# Взаимные превращения жидкостей и газов

## Насыщенный пар

Процесс конденсации:



# Взаимные превращения жидкостей и газов

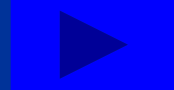
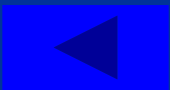
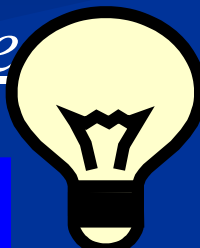
## Насыщенный пар

Пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью, называют **насыщенным паром**.



В первый момент, после того как жидкость нальют в сосуд и закроют его, жидкость будет испаряться и плотность пара над ней будет увеличиваться.

Однако одновременно с этим будет расти и число молекул, возвращающихся в жидкость. Чем больше плотность пара, тем большее число его молекул возвращается в жидкость. В результате в закрытом сосуде при постоянной температуре установится динамическое (подвижное) равновесие между жидкостью и паром.





# Взаимные превращения жидкостей и газов

## Насыщенный пар

**Динамическое равновесие** — это состояние, при котором число молекул, покидающих поверхность жидкости за некоторый промежуток времени, будет равно в среднем числу молекул пара, возвратившихся за то же время в жидкость.

Для воды при комнатной температуре это число приблизительно равно  $10^{22}$  молекул за время, равное 1 с (на 1 см<sup>2</sup> площади поверхности).

