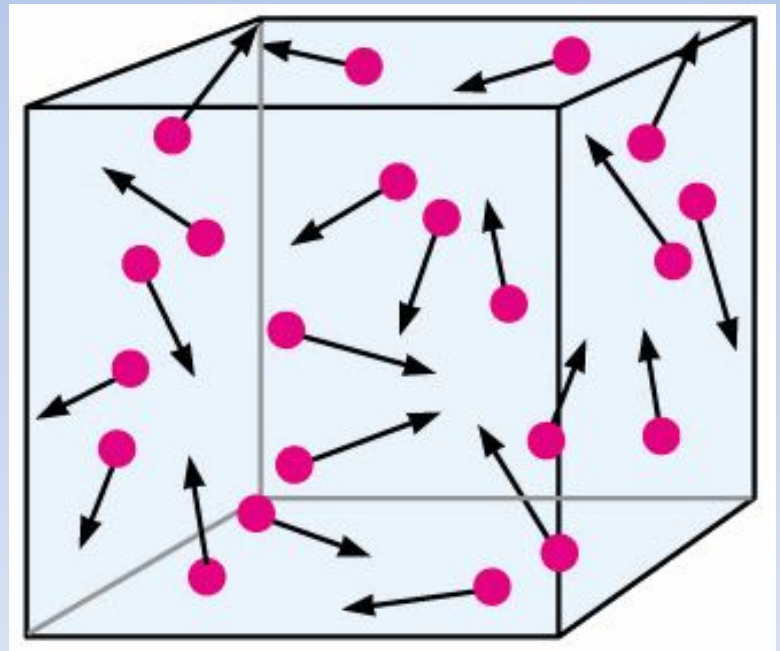
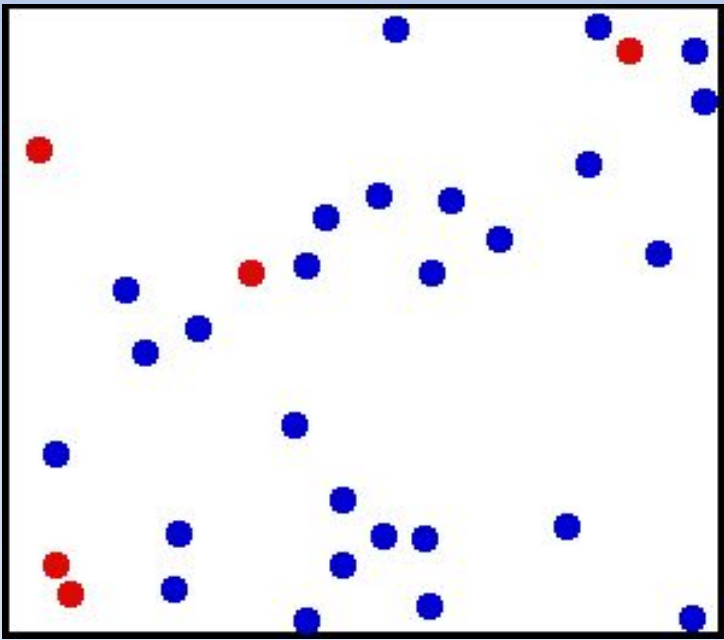


# Кинетическая Теория Идеального газа



## Темы

- Газ и давление газа
- Кинетическая теория и модель газа
- Идеальный газ
- Средняя скорость молекул газа
- Среднеквадратичная скорость
- Упражнения и задачи

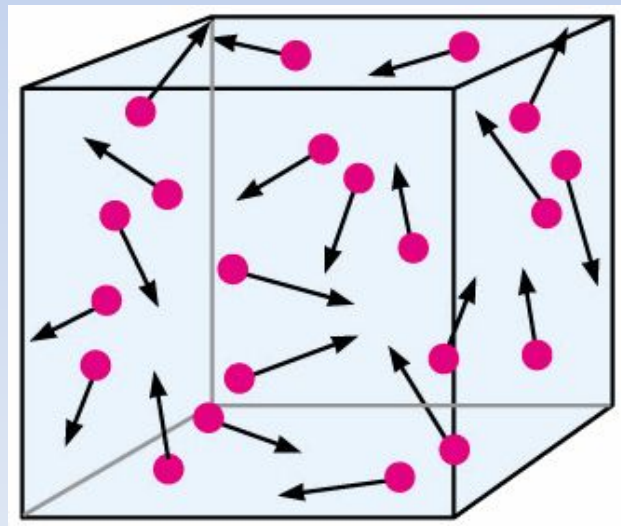
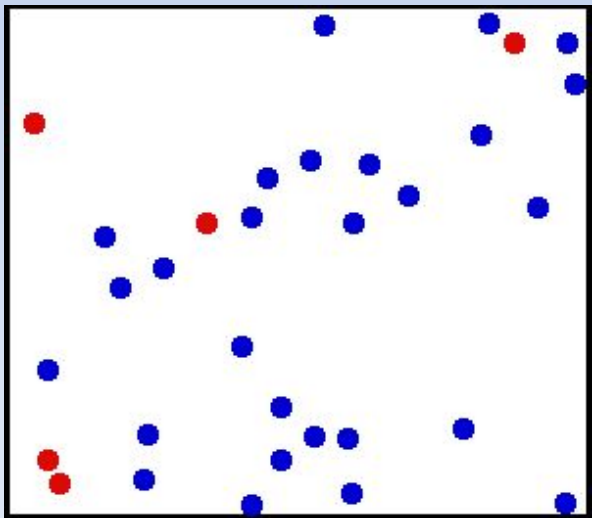
# Кинетическая модель газа

□ Кинетическая теория связывает макроскопические измеряемые величины, такие как давление, объем и температура, с движениями в молекулярном масштабе.

- Кинетическая теория предоставляет инструменты для:
- Расчета «микроскопических» величин, таких как скорость частицы, частота столкновений и расстояние, пройденное между столкновениями.
- Вывода макроскопических свойств, таких как давление и температура, и явления переноса (например, скорости диффузии и теплопроводность)

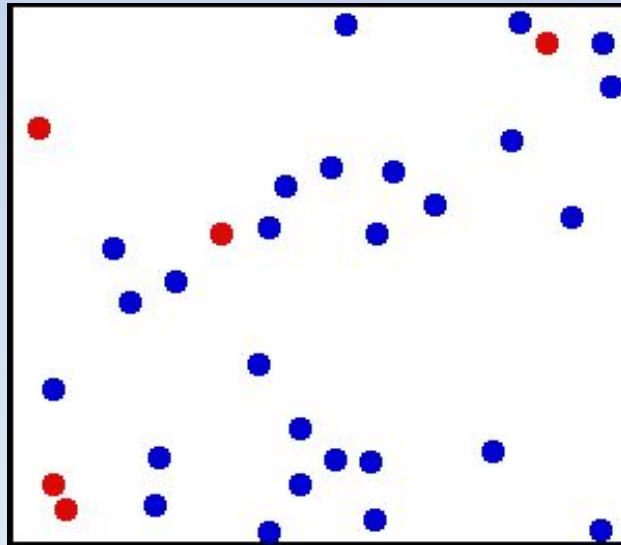
# Газы

- Газы состоят из движущихся атомов (He, Ne, Ar, ...) или молекул ( $O_2$ ,  $H_2$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ , ...)
- Атомы и молекулы могут свободно двигаться (беспорядочное движение)



# Давление газа

- Как объяснить давление газа?
- Помните ... Давление - это сила  $F$  на единицу площади  $S$
- (в системе СИ:  $\text{Н м}^{-2} = \text{Па}$ )
- Давление газа обусловлено столкновением его атомов или молекул со стенками его контейнера.



# Идеальный газ: предположения

- Есть много частиц (атомов или молекул), которые постоянно движутся в случайных направлениях
- Частицы очень маленькие и ведут себя как твердые сферы
- Все столкновения между частицами являются упругими, и все движение происходит без трения (энергия не теряется)
- Расстояние между частицами намного больше, чем размер частиц (крошечные частицы; газ низкой плотности)

# Идеальный газ: предположения

- В природе нет идеальных газов ... идеальный газ - это приближение!
- Так.... почему мы их изучаем ???
- Все реальные газы приближаются к идеальному состоянию:
- при низких плотностях, и низких давлениях (то есть в условиях, когда их молекулы достаточно далеко друг от друга, которые не взаимодействуют друг с другом)
- Если газ значительно выше точки кипения
- Многие реальные газы ведут себя в хорошем приближении как идеальные газы в нормальных условиях!

# Упражнения и задачи

1. В физике многие законы или понятия являются приближенными.

Объясните, что подразумевается под приближением.

2. Сформулируйте три предположения об идеальном газе.

3. Можно ли рассматривать настоящий газ как идеальный газ?

Если так, объясните.

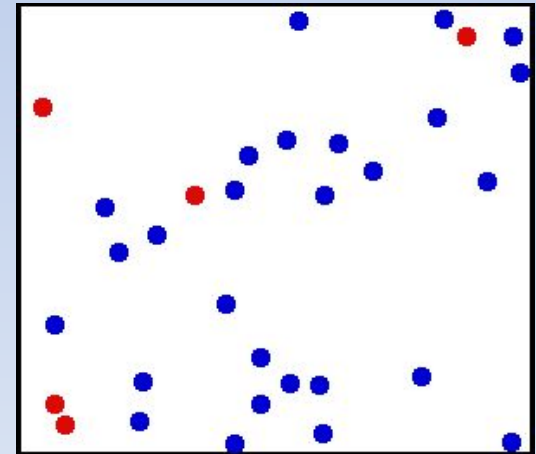
4. Объясните, что вызывает сжатие газа и как оно связано со следующей картинкой



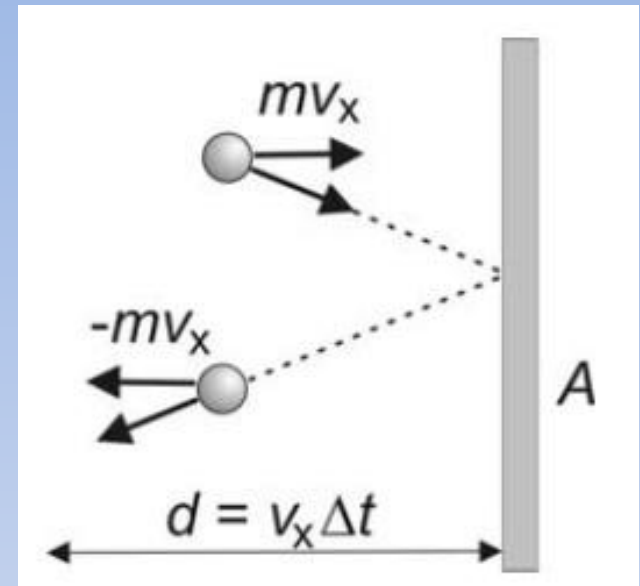
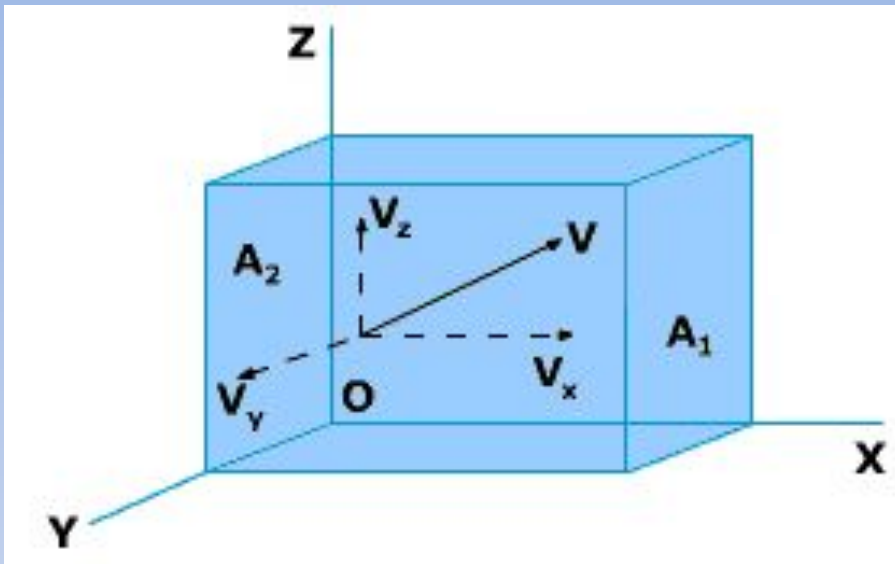


# Давление газа

- Столкновения частиц газа со стенками сосуда являются причиной давления газа
- Факторы, которые влияют на давление газа («микроскопические» факторы)
- Скорость частиц
- Масса каждой частицы
- Количество частиц

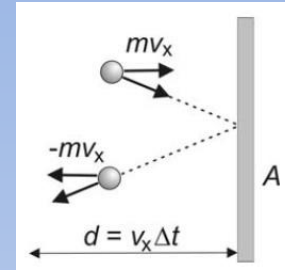
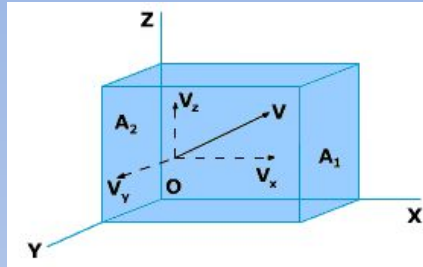


# Вывод формулы давления газа



- Передача импульса к стене при каждом столкновении  $\Delta p_x = 2m_0 v_x$
- $m_0$  - масса каждой молекулы или атома
- Количество частиц на расстоянии  $d$  от стены  $\frac{N}{V} A v_x \Delta t$
- В среднем половина этих частиц движется к стене

# Вывод формулы давления газа



- Количество частиц, движущихся к стенке
- (случайные скорости)

$$\frac{1}{2} \left( \frac{N}{V} A v_x \Delta t \right)$$

- Общий импульс передается стенке
- Общая сила

$$F_x = \frac{N}{V} m_0 A v_x^2$$

$$\Delta p_x = \frac{N}{V} m_0 A v_x^2 \Delta t$$

- Давление газа

$$p = \frac{N}{V} m_0 v_x^2$$

# Вывод формулы давления газа

- Среднее значение квадрата скоростей  $\langle v^2 \rangle$
- Обозначение  $\langle v^2 \rangle$  означает среднее значение  $v^2$
- Среднее арифметическое

$$v_x^2 \rightarrow \langle v_x^2 \rangle$$

- Вычисляя скорости и беря квадратный корень, мы преодолеваем направленную составляющую скорости, и теперь мы называем ее среднеквадратичной скоростью.
- Распределение скоростей в газе
- Среднее квадрата  $x$ -составляющей скорости всех

# Вывод формулы для давления газа

- Случайное движение
- Среднее значение составляющих скорости одинаково в каждом направлении

$$\langle v_x^2 \rangle = \langle v_y^2 \rangle = \langle v_z^2 \rangle$$

- Среднее значение квадрата скорости

$$\langle v^2 \rangle = \langle v_x^2 \rangle + \langle v_y^2 \rangle + \langle v_z^2 \rangle$$

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

# Вывод формулы для давления газа

□ Наконец ... мы находим уравнение, которое искали



$$\begin{cases} p = \frac{N}{V} m_0 v_x^2 \\ \langle v_x^2 \rangle = \frac{1}{3} \langle v^2 \rangle \end{cases}$$



$$p = \frac{1}{3} \frac{N}{V} m_0 \langle v^2 \rangle$$

$p$	давление газа	$Pa$
$N/V$ объема)	концентрация молекул (число молекул в единице $m^{-3}$ )	
$m_0$	масса одной молекулы (атома)	$kg$
$\langle v^2 \rangle$	квадрат среднеквадратичной скорости	$m^2$

# Среднеквадратичная скорость

## □ Среднеквадратичная скорость

Среднеквадратичная скорость - это мера скорости частиц в газе.

Он определяется как корень квадратный из квадрата средней скорости молекул в газе (она не совсем равна средней скорости молекул)

$$v_{rms} = \sqrt{\langle v^2 \rangle}$$

Например, среднеквадратичная скорость атома или молекулы идеального газа при абсолютной температуре  $T$  определяется как (мы выведем это уравнение позже)

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

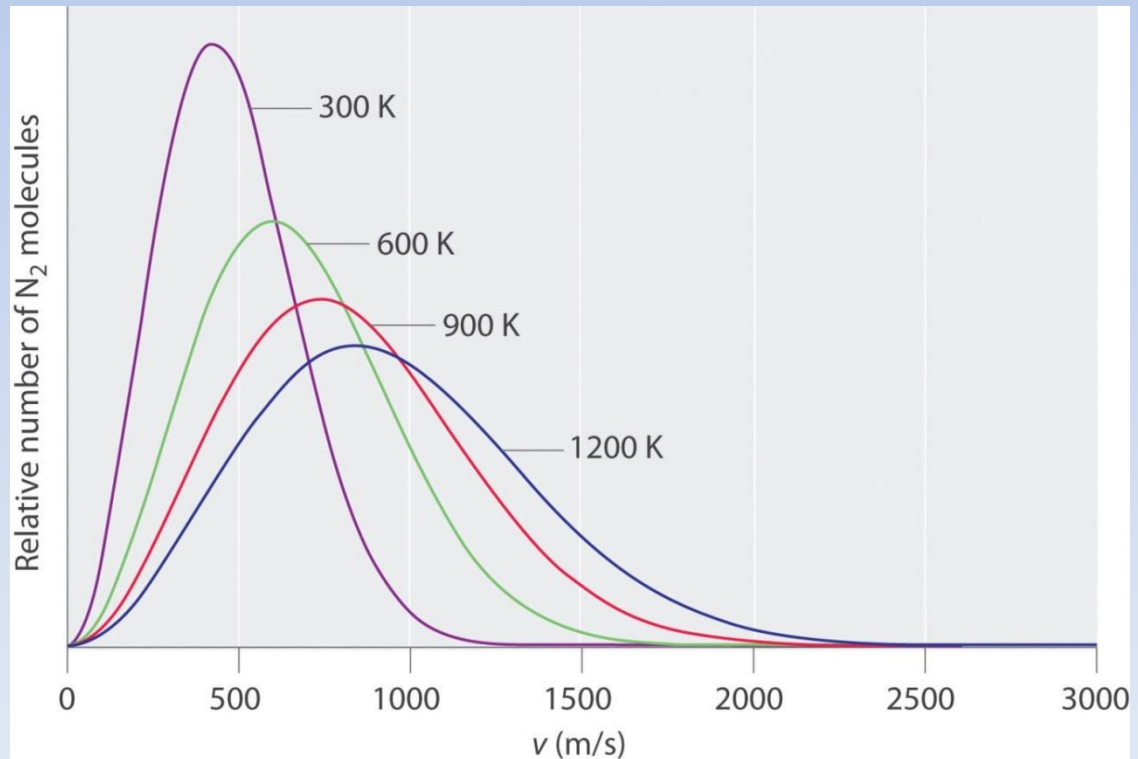
$M$	молярная масса	$kg$
$mol^{-1}$		
$R$	универсальная газовая	
постоянная		$R = 8.31 J K^{-1}$

# Упражнения и задачи

1. Распределение Максвелла – Больцмана - это распределение вероятностей, используемое в физике (в частности, в статистической механике) для описания скоростей частиц в идеальных газах (для большого числа частиц).

На следующем рисунке показано это распределение при разных температурах для газообразного азота  $N_2$ .

Объясните графики.





# Упражнения и задачи

2. Скорости семи молекул в газе численно равны 2, 4, 6, 8, 10, 12 и  $14u$ , где  $u$  является подходящей единицей.

Найти числовые значения

а) средняя скорость  $\langle v \rangle$ .

б) Средняя скорость в квадрате  $\langle v \rangle^2$ .

в) Квадрат среднеквадратичной скорости  $\langle v^2 \rangle$ .

г) среднеквадратичная скорость.

2. а)  $8u$ ; б)  $64u^2$ ; в)  $80u^2$ ; г)  $8.9u$

# Упражнения и задачи

3. Гелий, который можно рассматривать как идеальный газ, запечатывается в металлический контейнер. Абсолютная температура затем удваивается.

Выберите правильные утверждения, если таковые имеются.

A. Давление газа остается постоянным, потому что объем контейнера не меняется.

B. Среднеквадратичная скорость атомов газа удваивается.

C. Давление внутри контейнера увеличивается на  $\sqrt{2}$

D. Количество атомов газа увеличивается вдвое.

E. Давление внутри контейнера удваивается.

F. Плотность газа остается постоянной.

# Упражнения и задачи

4. Оцените среднеквадратичную скорость молекулы азота в вашем классе.
5. а) Определите соотношение среднеквадратичных скоростей кислорода  $O_2$  и водорода  $H_2$  в атмосфере Земли.
- б) Рассчитайте среднеквадратичную скорость  $H_2$  при комнатной температуре.
- с) Основываясь на значении, указанном в 5. б), предложите причину, по которой водородный газ  $H_2$  не обнаружен в атмосфере Земли, несмотря на то, что водород является наиболее распространенным элементом во Вселенной.

# Упражнения и задачи

**6.** Радиоактивные породы непрерывно производят гелий и добавляют его в атмосферу Земли.

Однако измерения концентрации гелия в атмосфере Земли показывают, что количество этого газа в атмосфере не увеличивается.

Предложите причину этого.