

*Основные  
положения  
МКТ*

# *Молекулярно-кинетическая теория*

- учение о строении и свойствах вещества на основе представления о существовании атомов и молекул как наименьших частиц химического вещества.
- Левкипп и Демокрит — 400 лет до н.э.
- М. В. Ломоносов — XVIII в. «О причине теплоты и холода», «О коловратном движении корпускул».

# *Атом и молекула*

- АТОМ –

наименьшая частица  
*химического элемента,*

которая является носителем  
его химических свойств.

- МОЛЕКУЛА -

наименьшая устойчивая  
частица *вещества,*

обладающая всеми  
химическими свойствами  
и состоящая из одинаковых  
(простое вещество) или  
разных (сложное  
вещество) атомов,  
объединенных  
химическими связями.

# Модели молекул разных веществ



Водород



Кислород



Вода



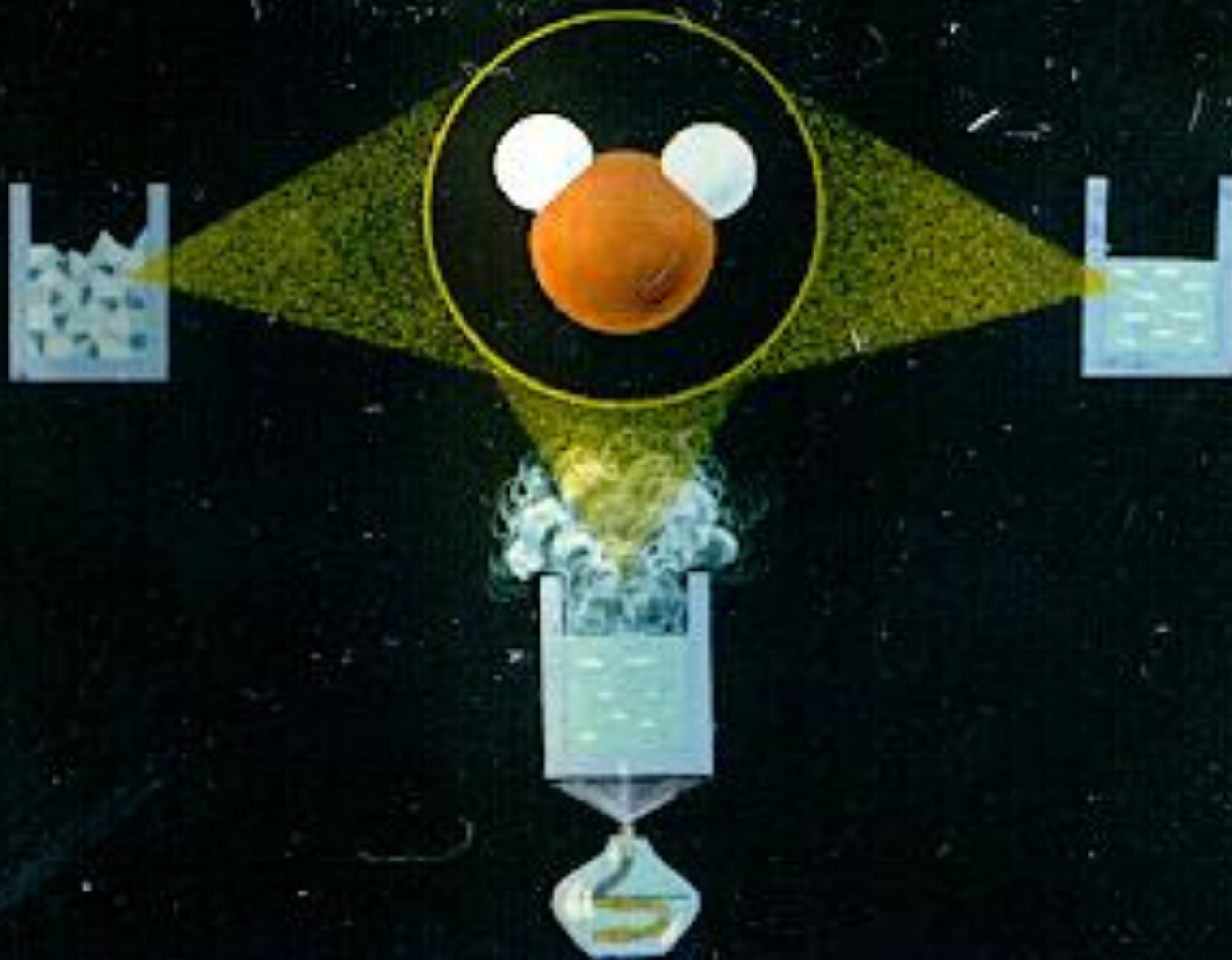
Аммиак



Спирт



Молекула льда, воды и водяного пара



# Объект и предмет изучения молекулярной физики.



# *Границы применимости молекулярно-кинетической теории.*

1. Рассматриваются только системы, состоящие из большого числа частиц ( $N > 10^{20}$ );
2. Температурный интервал, в котором молекулы и атомы можно считать бесструктурными неделимыми частицами:
  - для молекул – 1000 – 3000К,
  - Для атомов – 10000К.

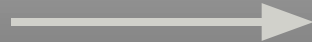
# ЗНАЧЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

- Объяснение явлений природы: диффузии, поверхностного натяжения, теплового расширения тел и др.
- Предсказание свойств новых свойств материалов.
- Расчеты физических характеристик тел: теплоемкости, давление газа и др.
- Обоснование эмпирических законов идеального газа.



# СТАТИСТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

*ИЗУЧАЕМЫЕ ОБЪЕКТЫ*



МАКРОСИСТЕМА  
Система,  
состоящая  
из большого  
числа  
частиц

*типичные явления*



Броуновское  
движение

Диффузия

Изопроцессы

# СРЕДСТВА ОПИСАНИЯ

## ПОНЯТИЯ

- Равновесная замкнутая система
- Идеальный газ
- Молекула и ее характеристики:  
 $m, V \dots$
- Постоянная Больцмана
- Параметры системы:  
 $P, T, V, m, M$
- Среднее значение величин

## Основные положения МКТ

1. Все тела состоят из частиц, разделенных промежутками.
2. Частицы непрерывно, хаотически движутся.
3. Частицы взаимодействуют друг с другом: притягиваются и отталкиваются.

## ЗАКОНЫ

- Уравнение МКТ идеального газа.
- Распределение Максвелла.

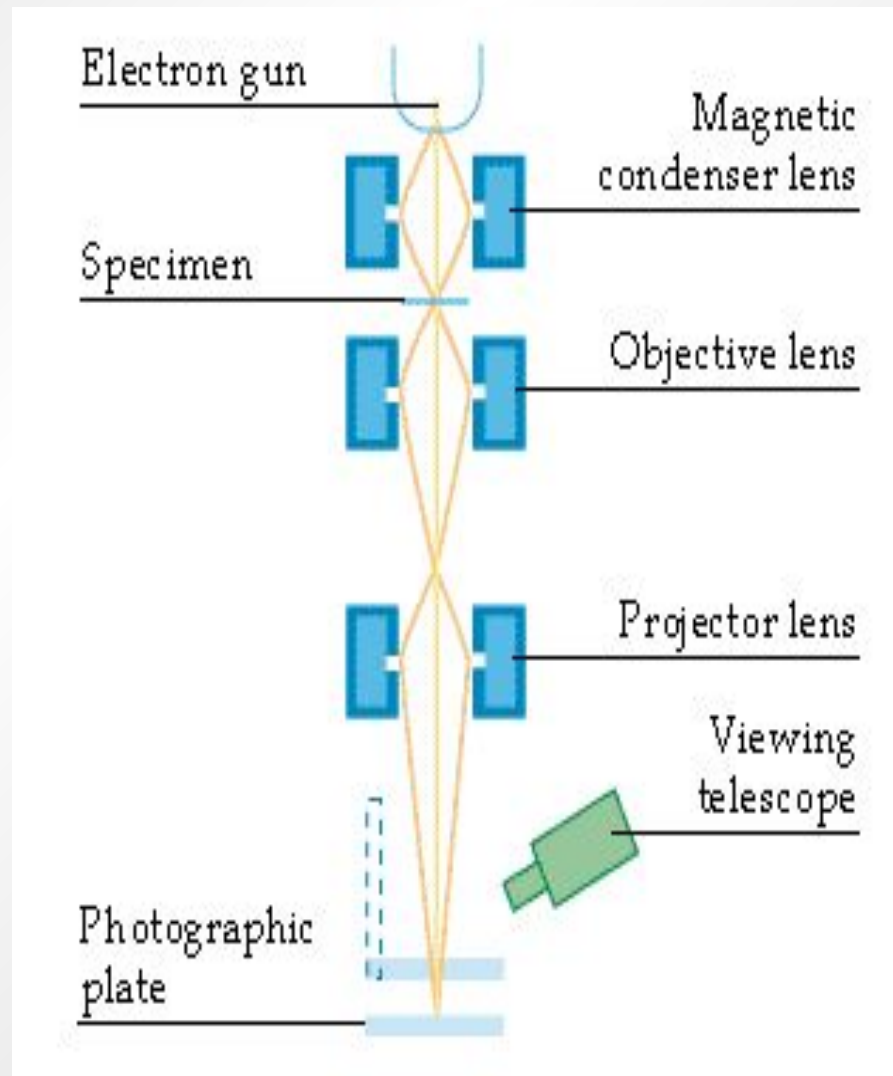
# *Три основных положения МКТ:*

- Все вещества – жидкие, твердые и газообразные – образованы из мельчайших частиц – молекул, которые сами состоят из атомов.
- Атомы и молекулы находятся в непрерывном хаотическом движении.
- Частицы взаимодействуют друг с другом силами, имеющими электрическую природу.


# *Опытные обоснования МКТ*

- **Существование молекул.**
  1. Делимость вещества.
  2. Закон кратных отношений: при образовании из двух элементов различных веществ массы одного из элементов в разных соединениях находятся в кратных отношениях –  $N_2O : N_2O_2 : N_2O_3$  - 1:2:3. (1803, Дж. Дальтон; 1808, Ж.Л. Гей-Люссак).
  3. Наблюдение молекул с помощью ионного проектора, электронного микроскопа, туннельного микроскопа.
  4. Явление диффузии.

# Электронный микроскоп





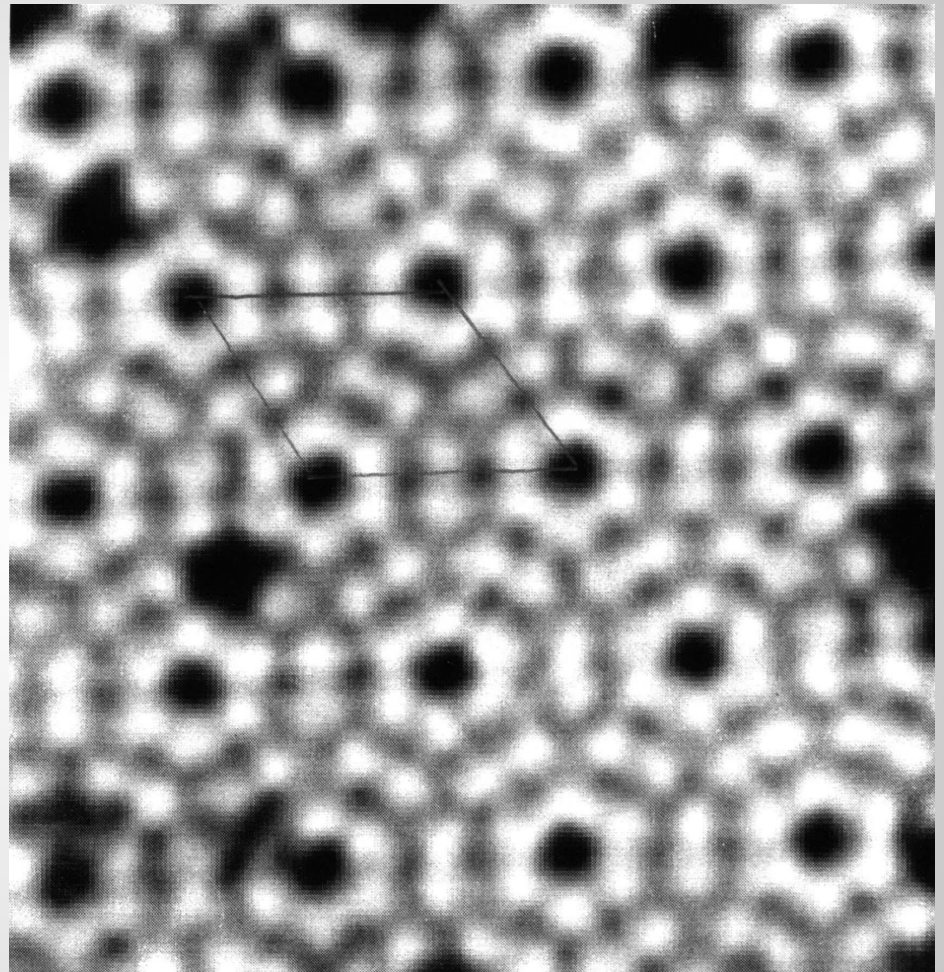
A scanning electron micrograph (SEM) of a mosquito head, showing the intricate structure of the mouthparts and the surrounding cuticle. The image is in black and white, highlighting the fine details of the insect's anatomy. The mouthparts are prominent, with long, thin structures extending from them. The cuticle is covered in small, rounded bumps, and there are various other structures visible, including what appears to be a large, dark, rounded structure, possibly a part of the brain or a sensory organ.

Изображение  
ГОЛОВЫ КОМАРА В  
ЭЛЕКТРОННОМ  
МИКРОСКОПЕ

Изображение  
поверхности  
лазерного диска,  
полученное с  
помощью  
электронного  
микроскопа

Питы

Поверхность  
кремния.  
Изображение  
получено с  
помощью  
туннельного  
микроскопа



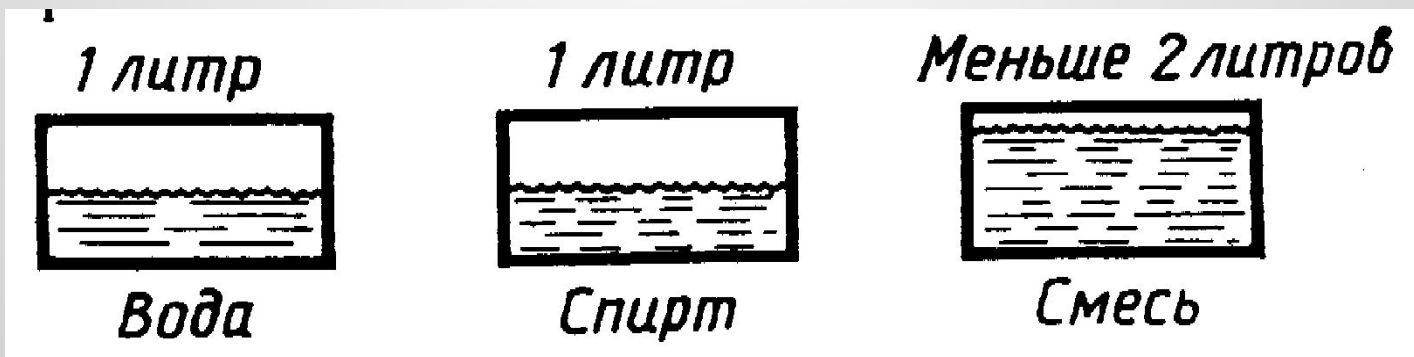
# *Опытные обоснования МКТ*

- **Наличие промежутков**

1. При смешивании различных жидкостей объем смеси меньше суммы объемов отдельных жидкостей.

2. Диффузия.

3. Деформация

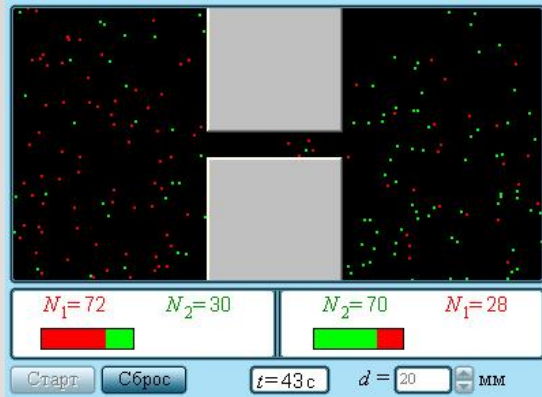


# *Опытные обоснования МКТ*

- **Хаотическое движение молекул**
  1. Броуновское движение.
  2. Диффузия.
  3. Давление газа на стенки сосуда.
  4. Стремление газа занять любой объем.
  5. Опыты по измерению скоростей атомов и молекул методом молекулярных пучков:  
(И. Штерн, 1920).



# Диффузия

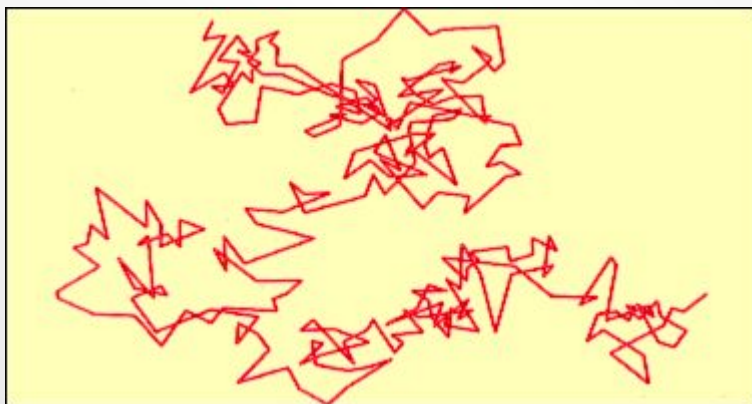


## Роль в природе, технике

1. Питание растений из почвы.
2. В организмах человека и животных всасывание питательных веществ происходит через стенки органов пищеварения.
3. Работа органов обоняния.
4. Цементация.

- явление проникновения частиц одного вещества в промежутки между частицами другого.
- Скорость диффузии зависит от температуры и состояния вещества (быстрее в газах).

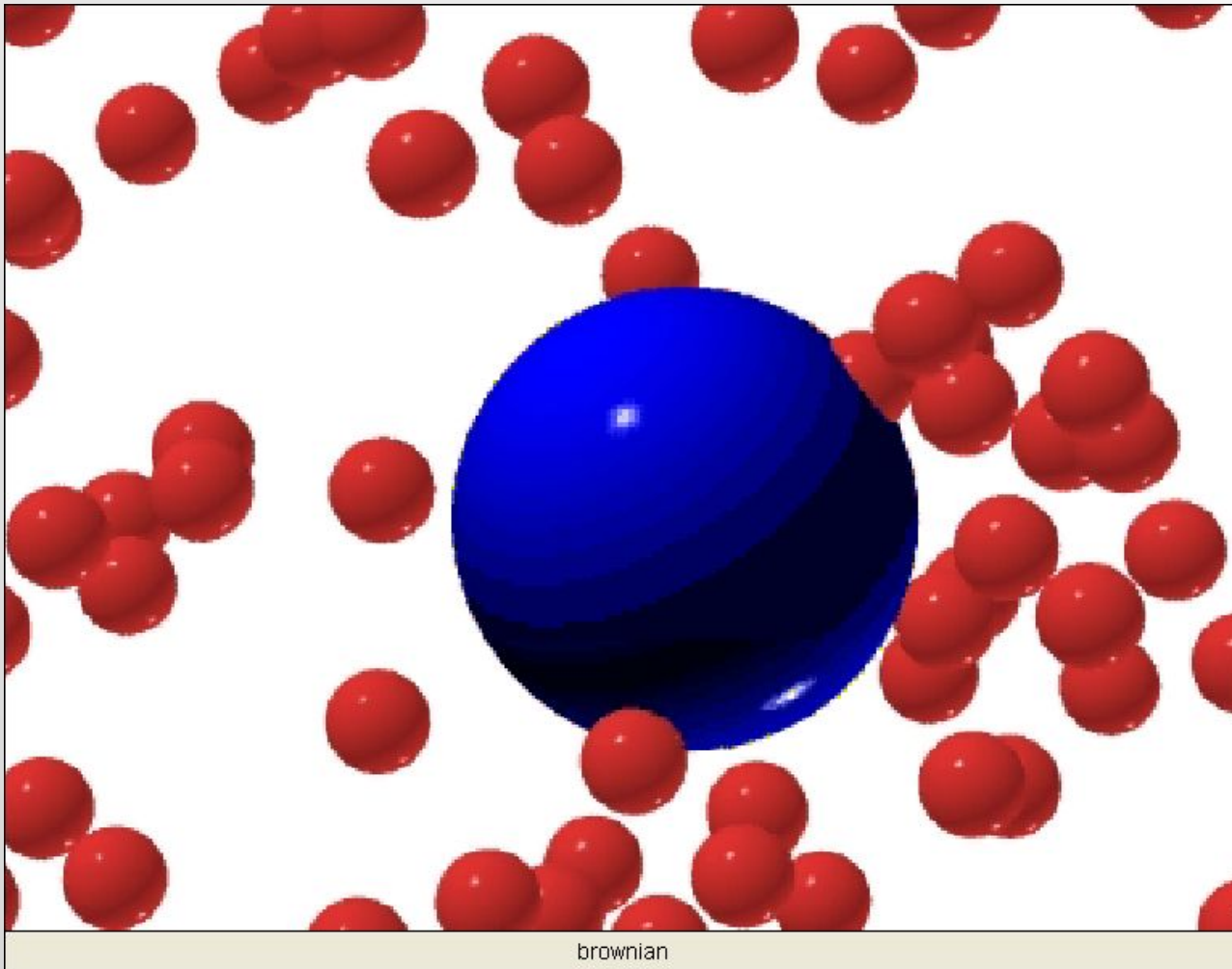
# Траектория броуновской частицы.



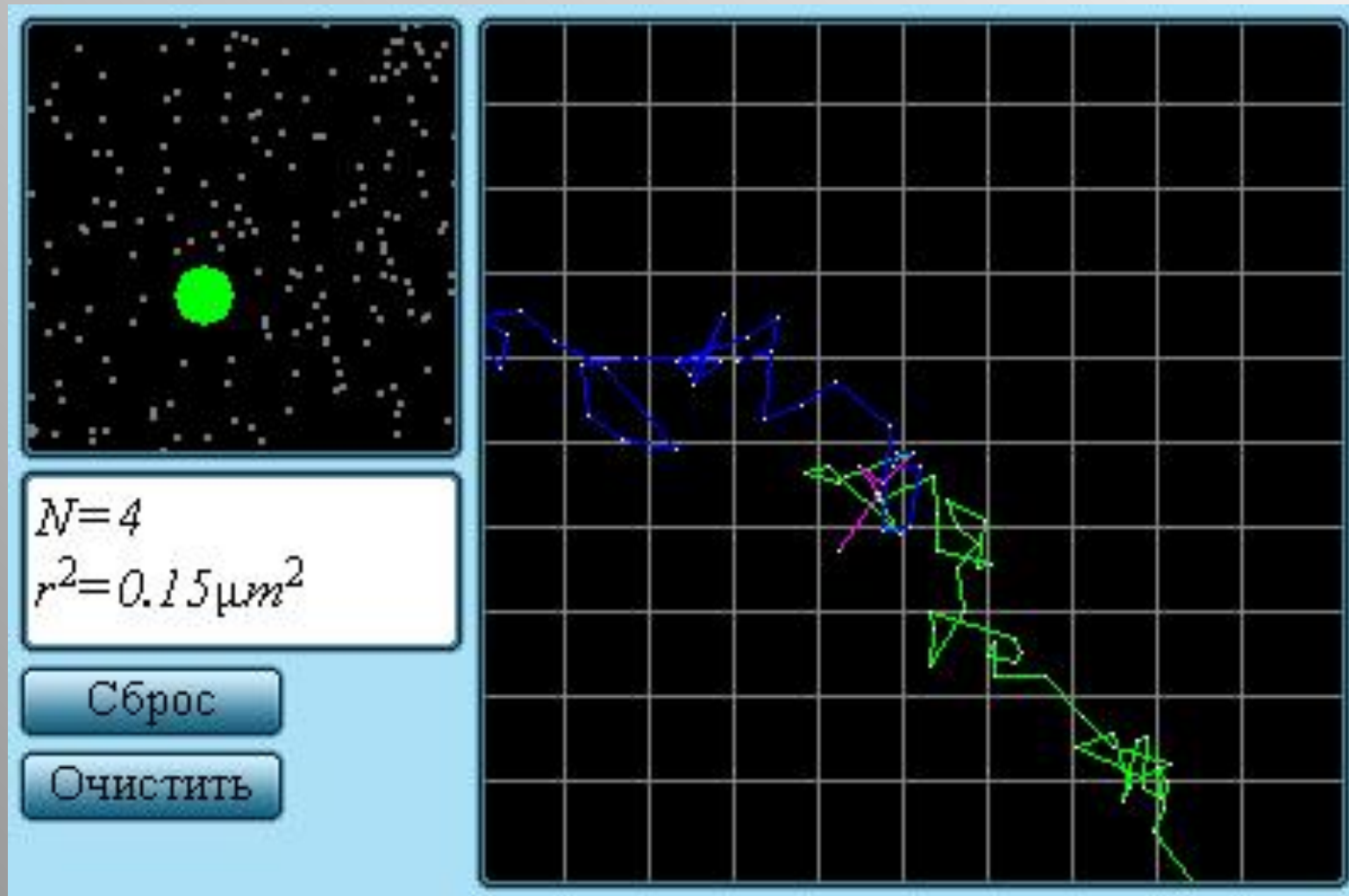
Броуновское движение - беспорядочное движение мелких частиц, взвешенных в жидкости или газе, происходящее под влиянием теплового движения молекул.

- Открыто Р. Броуном (1827 г.).
- Теория создана А. Эйнштейном  
Теория создана А. Эйнштейном и М. Смолуховским (1905 г.).
- Экспериментально теория подтверждена в опытах Ж. Перрена (1908–1911 гг.).

# Наблюдение броуновского движения

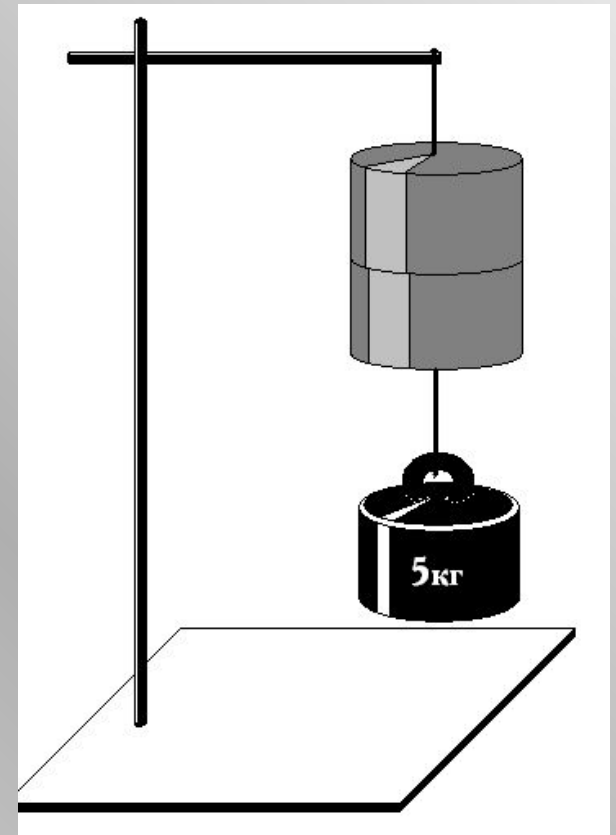


# Опыты Ж. Б. Перрена



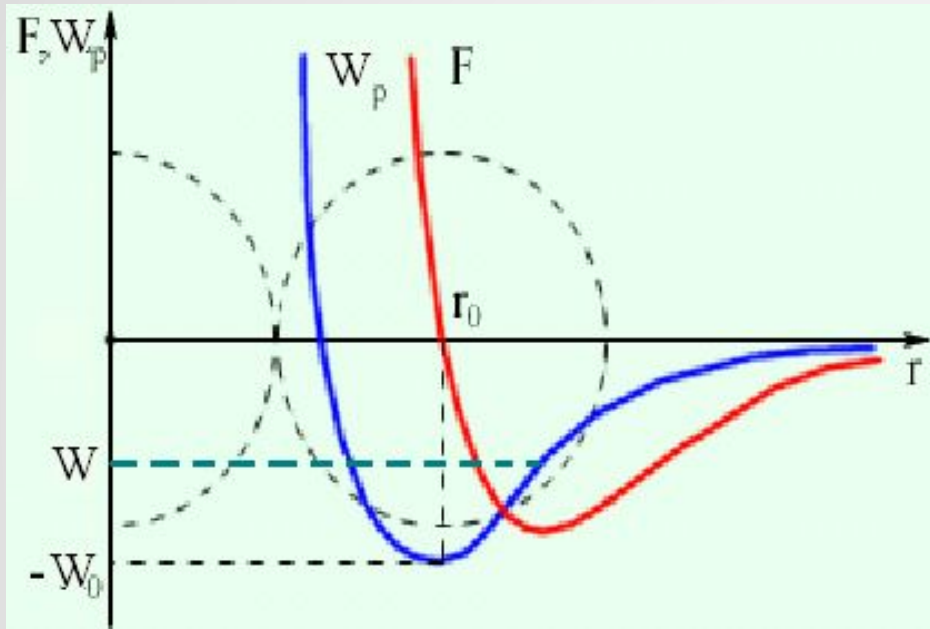
# *Опытные обоснования МКТ*

- **Силы взаимодействия.**
  1. Деформация тела.
  2. Сохранение формы твердого тела.
  3. Поверхностное натяжение жидкости.
  4. Свойства прочности, упругости, твердости и т.п.
  5. Опыт со свинцовыми цилиндрами.





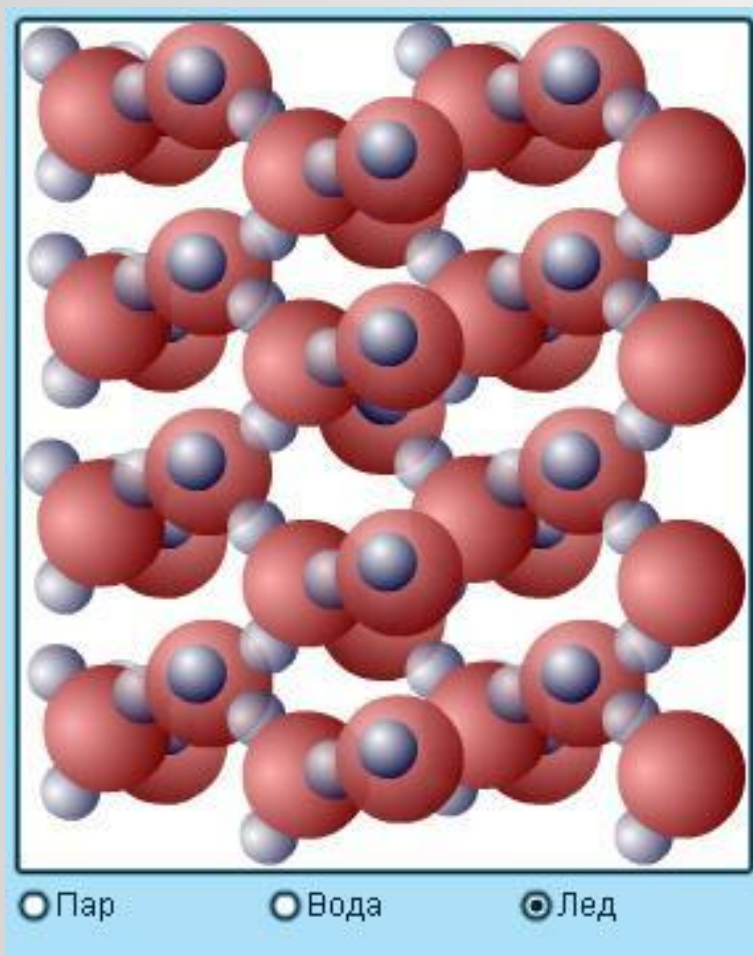
# Взаимодействие молекул




Природа сил  
взаимодействия –  
электрическая.

- Какая модель молекулы здесь используется?
- Как можно интерпретировать точку  $r_0$ ?
- Что можно принять за диаметр молекулы?
- Как будут двигаться частицы, имеющие энергию  $W$ ? Больше? Меньше?

# *Модели движения частиц в различных агрегатных состояниях*



## Характеристики молекул

Метод определения Параметр	Теоретически	Экспериментально
Размеры	$d_0 = \frac{V}{S}$	 <p style="text-align: center;"><math>d_0 \approx 1,7 \cdot 10^{-7} \text{ см}</math></p>
Концентрация	$N = \frac{1 \text{ см}^3}{\frac{\pi}{6} d^3 \text{ см}^3} \approx 3,7 \cdot 10^{22}$	Косвенно
Масса	Для воды: $m_0 = \frac{m}{N} = \frac{1 \text{ г}}{3,7 \cdot 10^{22}} \approx 2,7 \times 10^{-23} \text{ г}$	Косвенно
Число Авогадро	$N_A = \frac{M}{m_0} = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$	Опыт Перреня: от $6 \cdot 10^{23}$ до $7 \cdot 10^{23}$ молекул в 1 моль
Молярная масса	$M = m_0 N_A$	Косвенно

**Характеристики  
одной молекулы**

**Характеристики  
системы молекул**

**Диаметр  $d$**

**Объем вещества  $V$**

**Объем молекулы**

$$V = \frac{4\pi r^3}{3}$$

**Число молекул в одном моле**

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

**Масса молекулы  $m_0$**

**Число молекул  $N$**

$$N = N_A V$$

**Относительная атомная  
масса**

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

**Масса вещества  $m$**

$$m = m_0 N = m_0 N_A V$$

**Молярная масса**

$$M = m_0 N_A$$

# Роберт Броун (Brown, Браун)

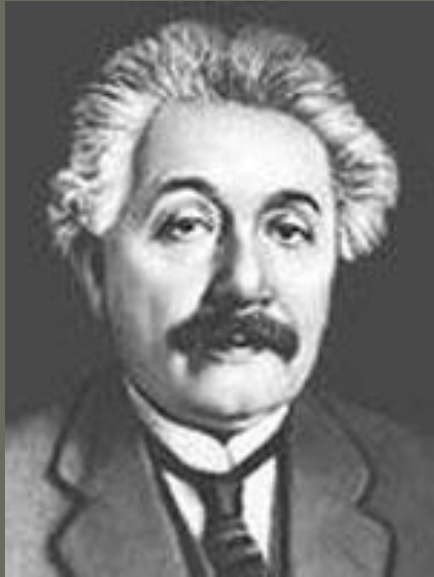
21.XII.1773–10.VI.1858



- Английский ботаник. Морфолого-эмбриологические исследования Брауна имели большое значение для построения естественной системы растений. Открыл зародышевый мешок в семяпочке, установил основное различие между покрытосеменными и голосеменными; в семяпочках хвойных открыл архегонии. Впервые правильно описал ядро в растительных клетках.
- Открыл в 1827 беспорядочное движение малых (размерами в нескольких мкм и менее) частиц, взвешенных в жидкости или газе, описал сложные зигзагообразные траектории.



# Эйнштейн (Einstein) Альберт (14.III.1879–18.IV.1955)



- Физик-теоретик, один из основателей современной физики. Родился в Германии, с 1893 жил в Швейцарии, в 1933 эмигрировал в США. Создатель теории относительности, теории фотоэффекта и др. Нобелевская премия 1921 г.

В 1905 вышла в свет его первая серьезная научная работа, посвященная броуновскому движению: «О движении взвешенных в покоящейся жидкости частиц, вытекающем из молекулярно-кинетической теории».

# Смолуховский Мариан

(28.5.1872 – 5.9.1917)



- Польский физик. Основные работы по молекулярной физике и термодинамике. Теоретически обосновал явление температурного скачка на границе газ – твердое тело, показал ограниченность классической трактовки второго начала термодинамики, установил законы флуктуаций равновесных состояний и др.

В 1905 – 06 гг. исходя из кинетического закона распределения энергии создал теорию броуновского движения, которая доказала справедливость кинетической теории теплоты.

# Перрен (Perrin) Жан Батист (30.IX.1870–17.IV.1942)



- Французский физик. Доказал, что катодные лучи представляют собой поток заряженных частиц. Изучал электрокинетические явления и предложил прибор для исследования электроосмоса (1904). Установил бимолекулярную структуру тонких мыльных пленок. Совместно с сыном Ф. Перреном исследовал явления флуоресценции. Нобелевская премия (1926).

Работы Перрена по изучению броуновского движения явились экспериментальным подтверждением теории Эйнштейна–Смолуховского; они позволили Перрену получить значение числа Авогадро, хорошо согласующееся со значениями, полученными др. методами, и окончательно доказать реальность молекул.