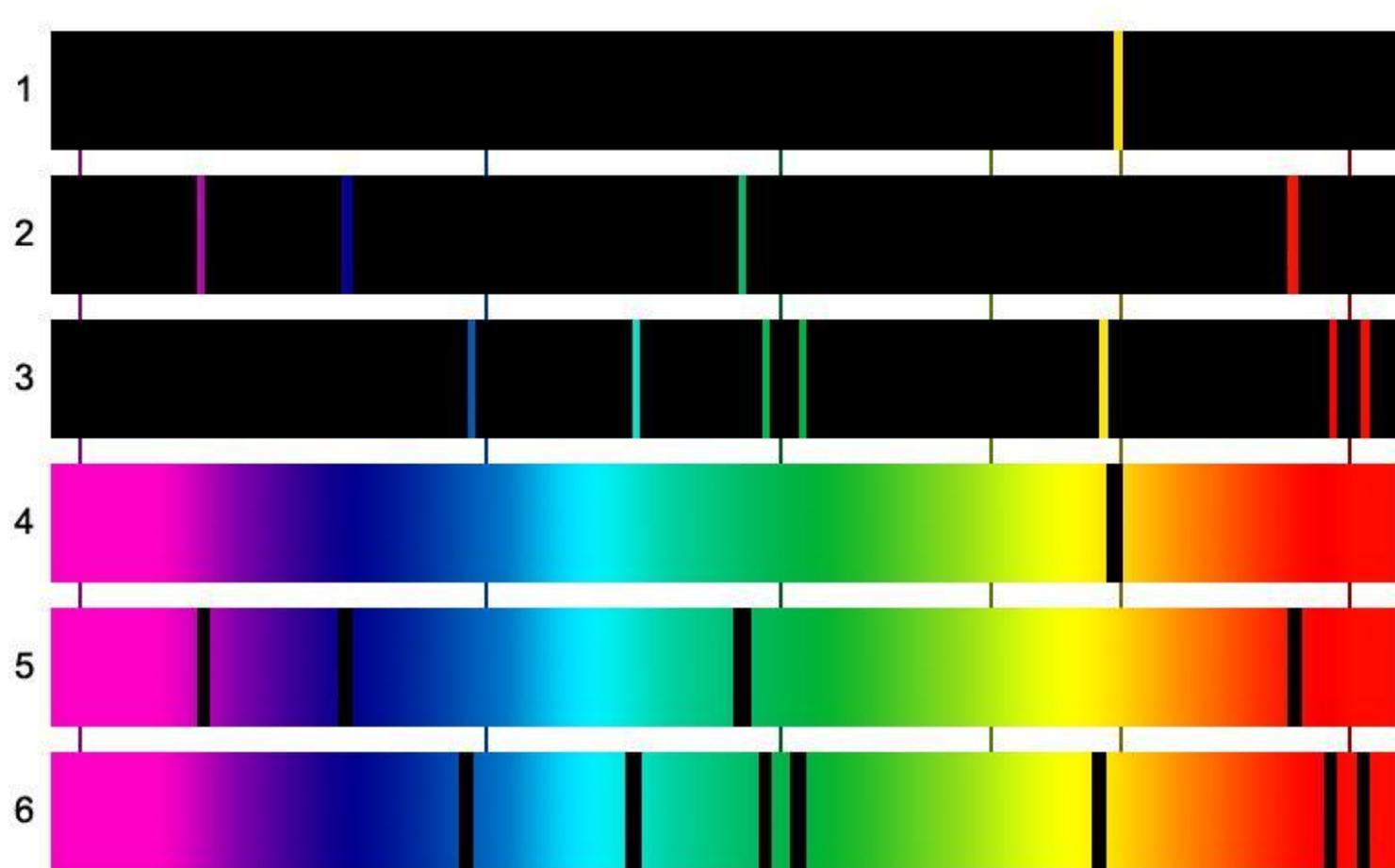


# НЕКЛАССИЧЕСКОЕ ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ

# Спектры поглощения и излучения (1805-1814)



Спектры испускания: 1 - натрия; 2 - водорода; 3 - гелия.

Спектры поглощения: 4 - натрия; 5 - водорода; 6 - гелия.

# Катализ в химии

(1806 г., Клеман и Дезорм – влияние окислов азота на окисление сернистого газа  $\text{H}_2\text{SO}_4$ )



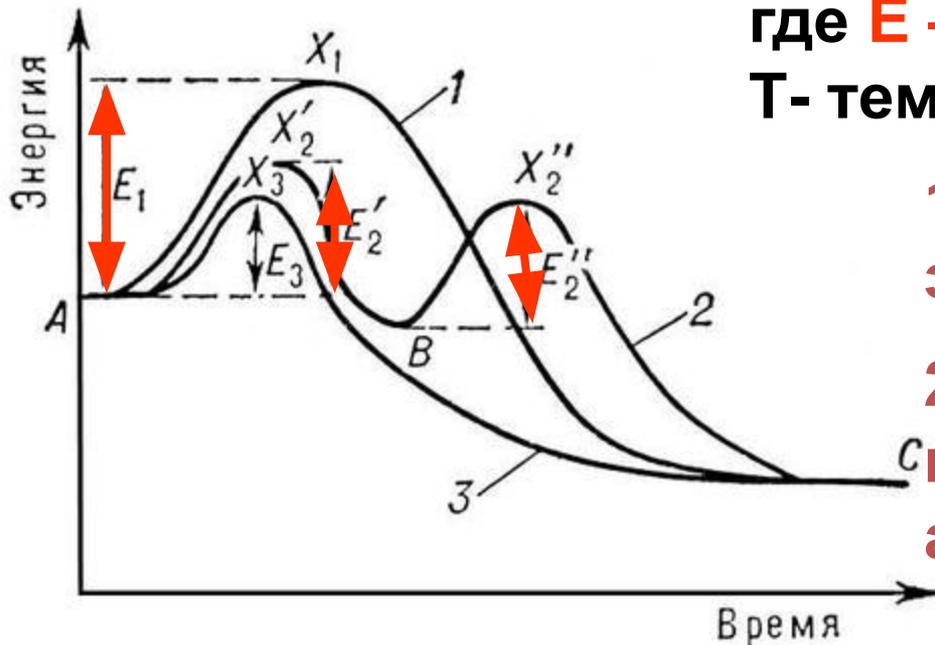
Ускорение или замедление химических реакций в присутствии особых веществ (катализаторов), **явно не взаимодействующих** с исходными реагентами

Скорость реакции пропорциональна  $e^{-E/RT}$ ,

где **E** – энергия активации реакции,  
T- температура, R- постоянная

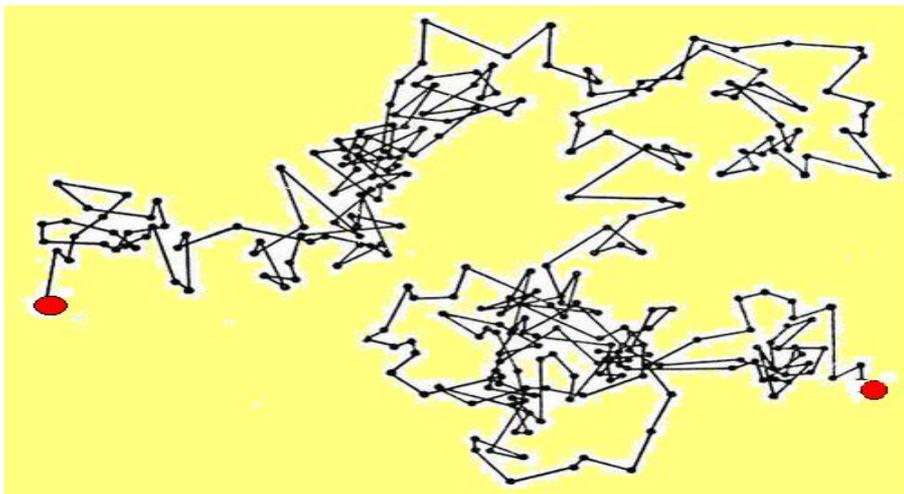
1- без катализатора (большая энергия активации  $E_1$ )

2- в присутствии катализатора энергия активации уменьшается ( $E_2$ )



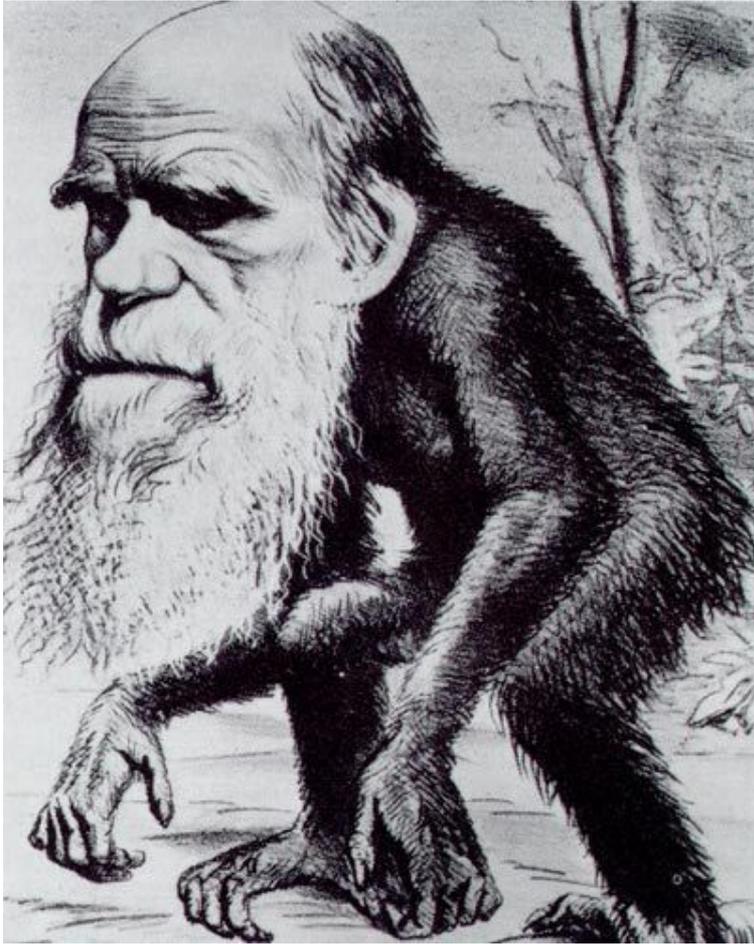
# Броуновское движение. Р.Броун (Браун). 1827.

Индикатор  
хаотического  
теплового движения  
молекул



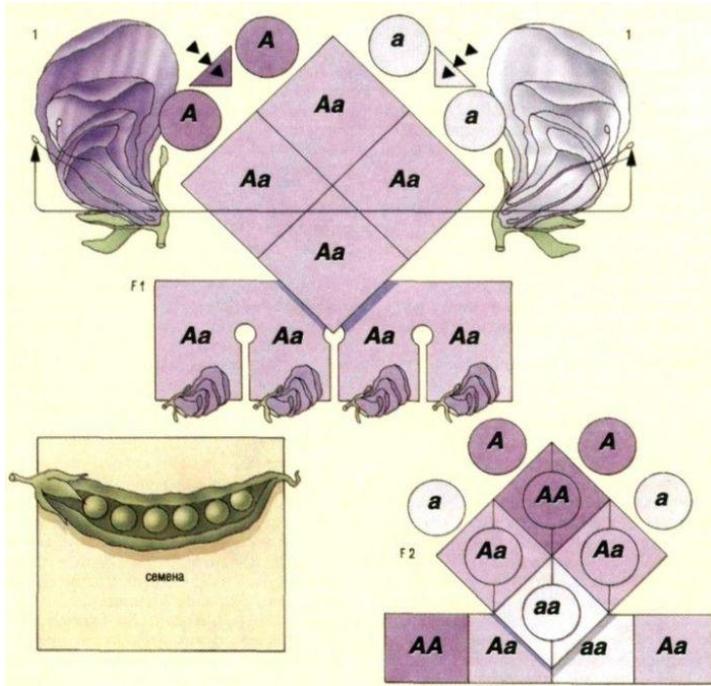
Броуновское движение  
**взвешенной частицы**  
частицы гуммигута в воде.  
Точками отмечены  
последовательные  
положения частицы через  
каждые 30 сек  
(наблюдения Ж. Перрена  
под микроскопом при  
увеличении ~ 3000.)

# Теория эволюции Ч.Дарвина (1859)



1. Изменчивость
2. Наследственность
3. Естественный отбор

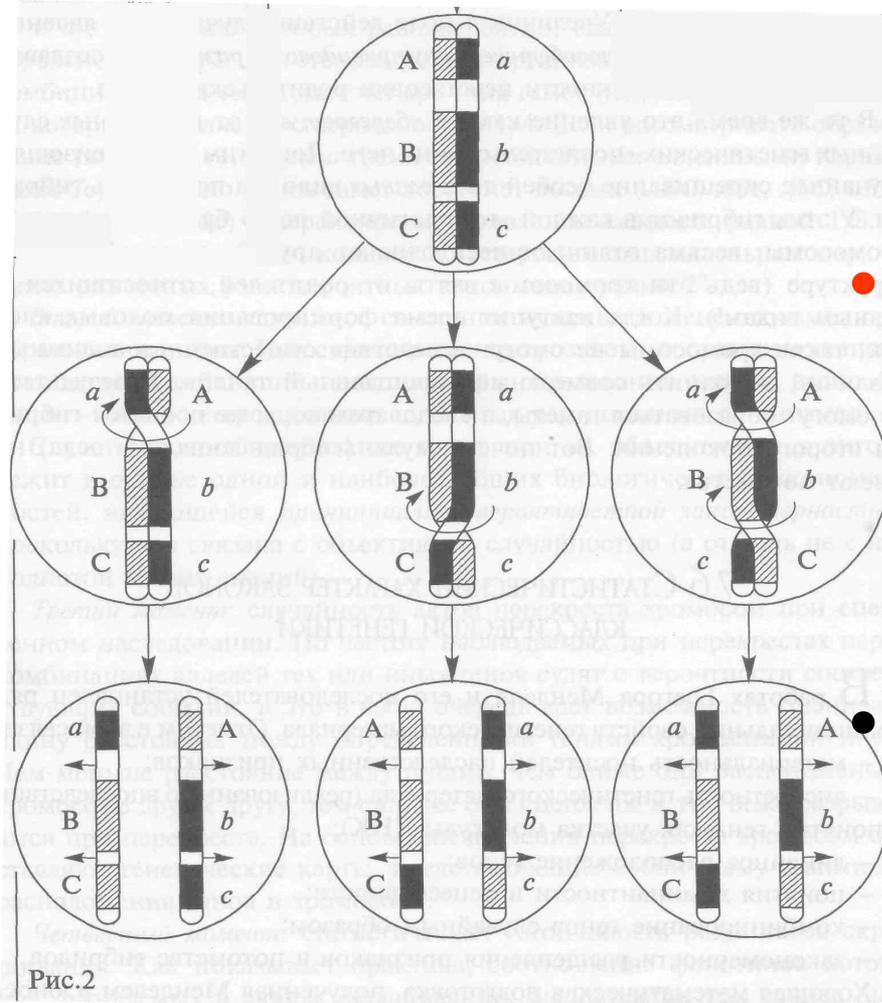
# Законы наследственности Г.Менделя (1865)



- **Случайное сочетание несцепленных генов при образовании гамет**
- **Случайные сочетания «М» и «Ж» гамет при образовании зиготы**

# Противоречие с классикой:

- **Случайность актов перекреста хромосом** при сцепленном наследовании – мест и числа разрывов хромосом.
- **Статистическая устойчивость результатов скрещивания** (соотношение разных фенотипов в потомстве, стабилизирующееся с ростом численности)



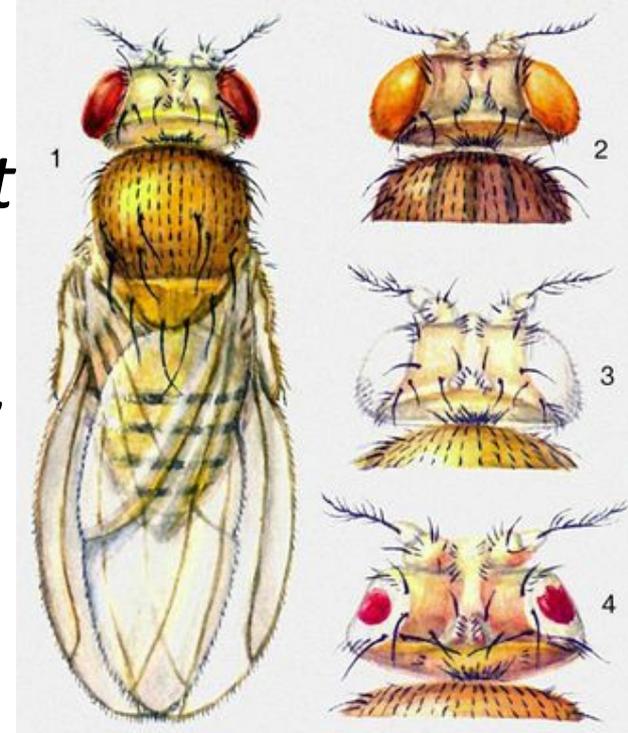
## ПЕРЕКРЕСТ ХРОМОСОМ



# Мутации

(от лат. *mutat*

—  
изменение,  
перемена)



**Внезапно возникающие** изменения наследственных структур живой материи, ответственных за хранение и передачу генетической информации.

Известные еще в 18 и 19 веках. Были хорошо известны Ч. Дарвину. Термин «мутация» ввёл в генетику Де Фриз в 1901 г.

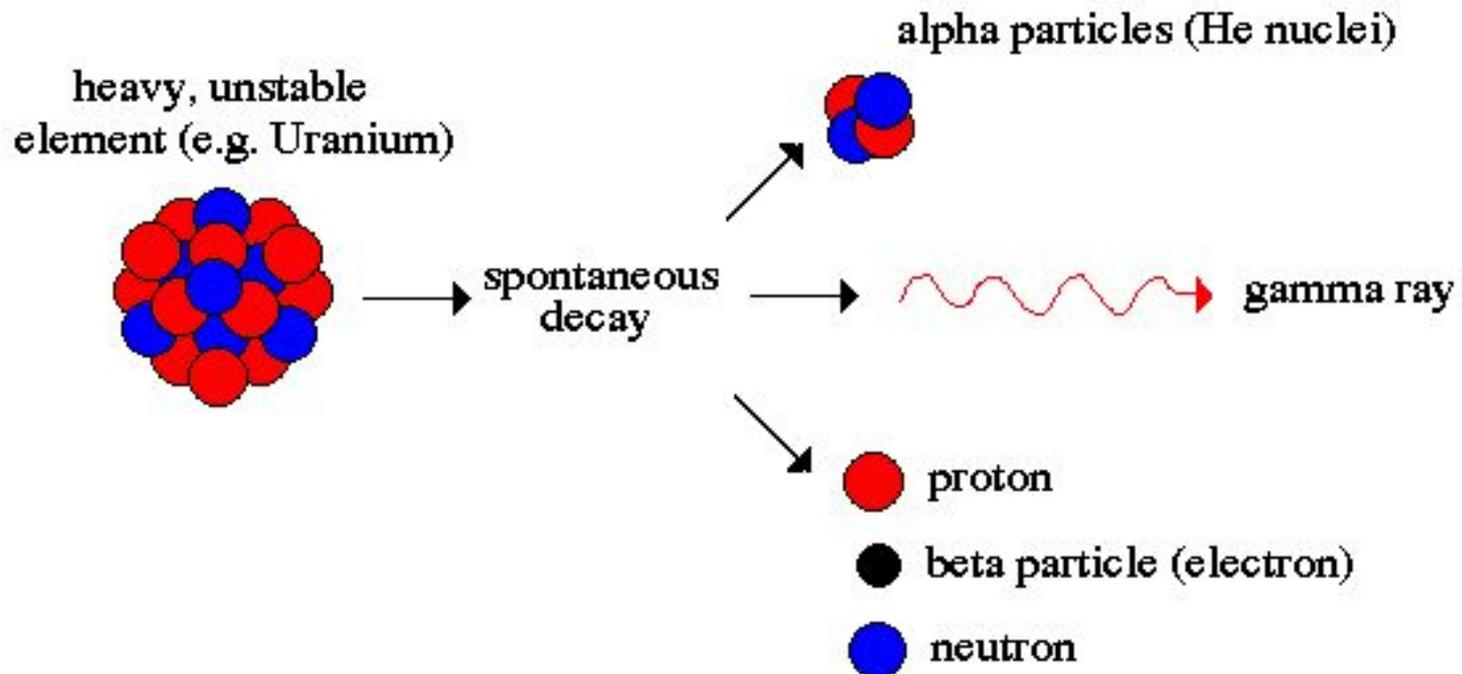
# 1869. Таблица Д.И. Менделеева (63 элемента) Периодическая повторяемость химических и физических свойств элементов

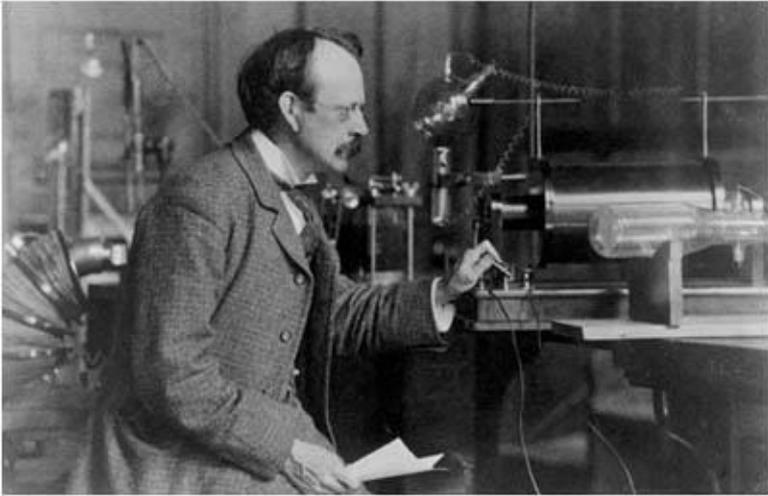
**The Elements**

The Elements																		He <sup>2</sup>																	
Li <sup>3</sup>		Be <sup>4</sup>		B <sup>5</sup>		C <sup>6</sup>		N <sup>7</sup>		O <sup>8</sup>		F <sup>9</sup>		Ne <sup>10</sup>																					
Na <sup>11</sup>		Mg <sup>12</sup>		Al <sup>13</sup>		Si <sup>14</sup>		P <sup>15</sup>		S <sup>16</sup>		Cl <sup>17</sup>		Ar <sup>18</sup>																					
K <sup>19</sup>		Ca <sup>20</sup>		Sc <sup>21</sup>		Ti <sup>22</sup>		V <sup>23</sup>		Cr <sup>24</sup>		Mn <sup>25</sup>		Fe <sup>26</sup>		Co <sup>27</sup>		Ni <sup>28</sup>		Cu <sup>29</sup>		Zn <sup>30</sup>		Ga <sup>31</sup>		Ge <sup>32</sup>		As <sup>33</sup>		Se <sup>34</sup>		Br <sup>35</sup>		Kr <sup>36</sup>	
Rb <sup>37</sup>		Sr <sup>38</sup>		Y <sup>39</sup>		Zr <sup>40</sup>		Nb <sup>41</sup>		Mo <sup>42</sup>		Tc <sup>43</sup>		Ru <sup>44</sup>		Rh <sup>45</sup>		Pd <sup>46</sup>		Ag <sup>47</sup>		Cd <sup>48</sup>		In <sup>49</sup>		Sn <sup>50</sup>		Sb <sup>51</sup>		Te <sup>52</sup>		I <sup>53</sup>		Xe <sup>54</sup>	
Cs <sup>55</sup>		Ba <sup>56</sup>		La <sup>57</sup>		Ce <sup>58</sup>		Pr <sup>59</sup>		Nd <sup>60</sup>		Pm <sup>61</sup>		Sm <sup>62</sup>		Eu <sup>63</sup>		Gd <sup>64</sup>		Tb <sup>65</sup>		Dy <sup>66</sup>		Ho <sup>67</sup>		Er <sup>68</sup>		Tm <sup>69</sup>		Yb <sup>70</sup>		Lu <sup>71</sup>			
Fr <sup>87</sup>		Ra <sup>88</sup>		Rf <sup>104</sup>		Db <sup>105</sup>		Sg <sup>106</sup>		Bh <sup>107</sup>		Hs <sup>108</sup>		Mt <sup>109</sup>		Ds <sup>110</sup>		Rg <sup>111</sup>		Uub <sup>112</sup>		Uut <sup>113</sup>		Uuq <sup>114</sup>		Uup <sup>115</sup>		Uuh <sup>116</sup>		Uus <sup>117</sup>		Uuo <sup>118</sup>			
Ac <sup>89</sup>		Th <sup>90</sup>		Pa <sup>91</sup>		U <sup>92</sup>		Np <sup>93</sup>		Pu <sup>94</sup>		Am <sup>95</sup>		Cm <sup>96</sup>		Bk <sup>97</sup>		Cf <sup>98</sup>		Es <sup>99</sup>		Fm <sup>100</sup>		Md <sup>101</sup>		No <sup>102</sup>		Lr <sup>103</sup>							

# Открытие радиоактивности. Л. Беккерель (1896)

## Radioactivity





# Открытие Дж. Дж. Томсоном электрона (1897)

«...Получается значение заряда, не зависящее от природы газа, так как носители заряда те же самые для любого газа. Таким образом, катодные лучи представляют собой новое состояние материи, состояние, в котором деление материи идет много дальше, чем в случае обычного газообразного состояния, ... эта материя представляет собой то вещество, из которого построены все химические элементы».

# Содержание «неклассики»

- Новые **модели**: взаимоисключающие свойства объектов, дискретность, запрещенные состояния

- Новые формы движения и взаимодействия

- Случайность событий и вероятность прогнозов

- Проблема точности измерения, места и роли исследователя

- Целостность состояний

- **Необратимость**

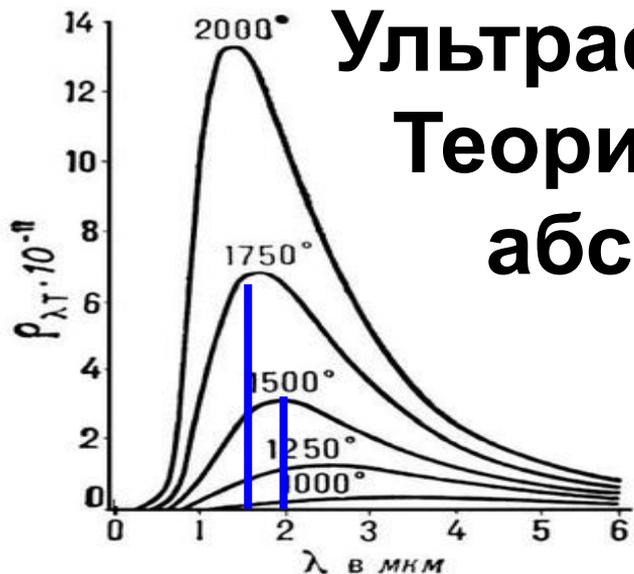
- Связанность

- Самоорганизация

- Суммирование историй

# Ультрафиолетовая катастрофа. Теория теплового излучения абсолютно черного тела

М. Планка. 1900 г.



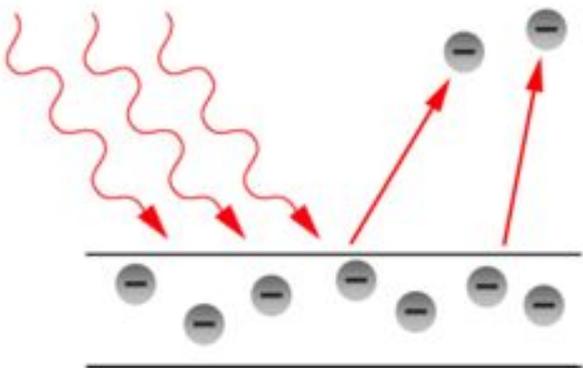
М. Планк **«угадал»** формулу, соответствующую опыту.

Для **объяснения формулы** использовал гипотезу **квантов энергии**, которая не вписывалась в **классические** представления.

$$E = h\nu \quad h = 6,626\ 068\ 96(33) \times 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$$

**Неделимое излучение (континуум)  
разделили на кусочки, порции, части!**

# Теория фотоэффекта (1905. А.Эйнштейн)



$$\hbar\omega = A + E$$

Не только излучение, но и  
поглощение энергии  
дискретно!

- Идея **квантов энергии** положила начало разработки новой физической теории (**квантовой физики**) как раздела **неклассического естествознания**



**Луи Виктор Пьер Раймон ДЕ БРОЙЛЬ**  
1924. Новая модель микрообъектов:  
свойства континуума у  
корпускулярных объектов

*Гипотеза Л. де Бройля:*  
Каждой частице с определенным  
импульсом соответствует волновой  
процесс с длиной волны:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$



# В эксперименте с

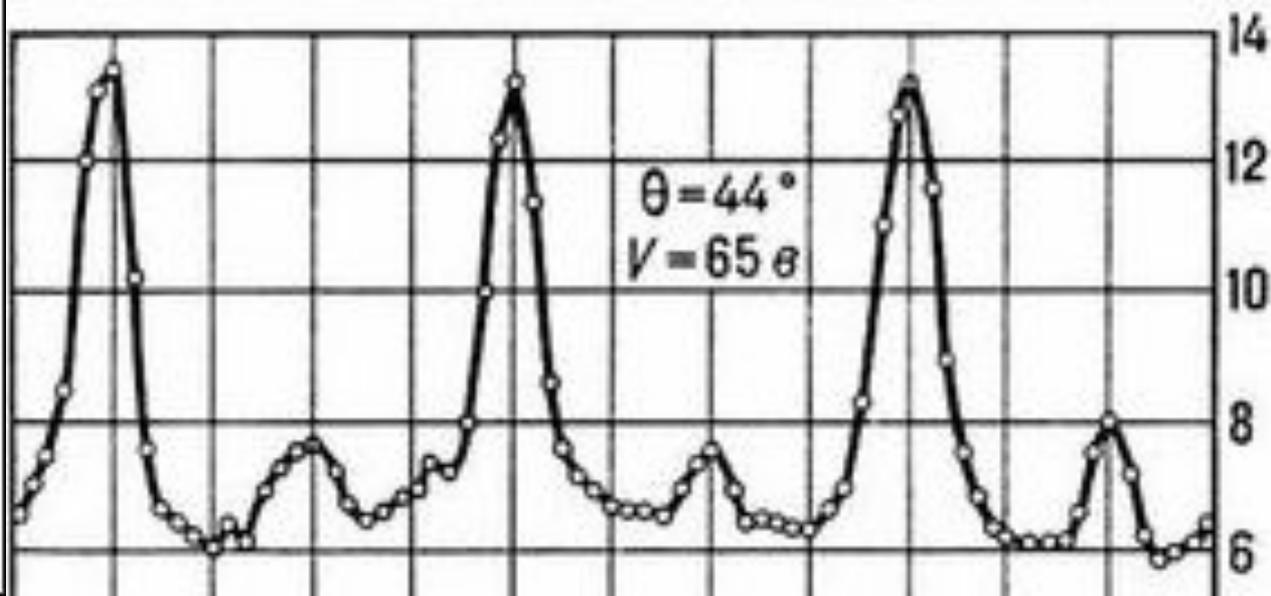
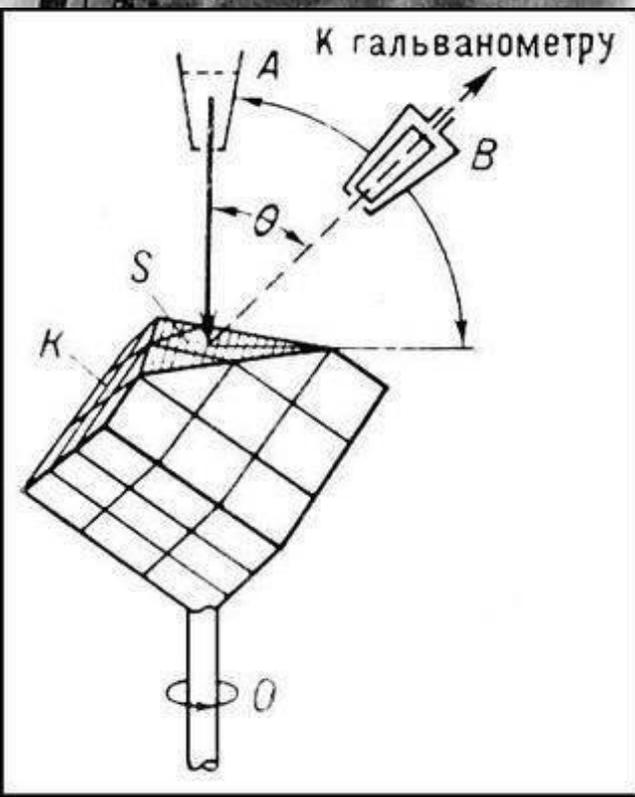
## частицами

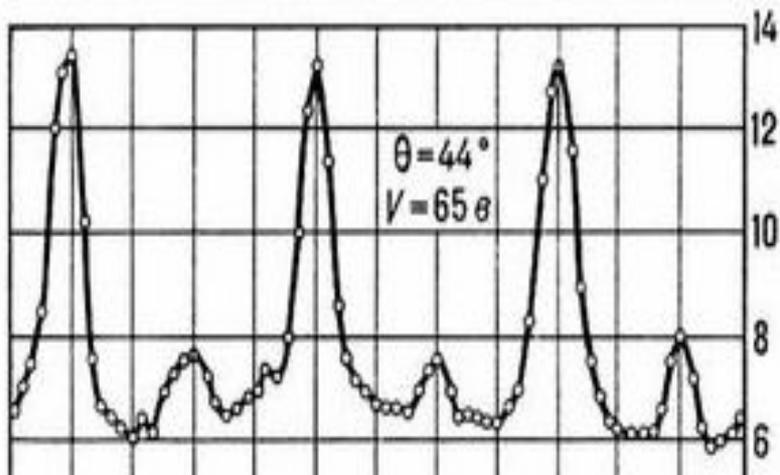
 (рассеивание

электронов на кристаллах - опыты

К. Дэвиссона и Л. Джермера, 1927 г.)

## обнаружилась типичная дифракционная картина





## Дифракция микрочастиц

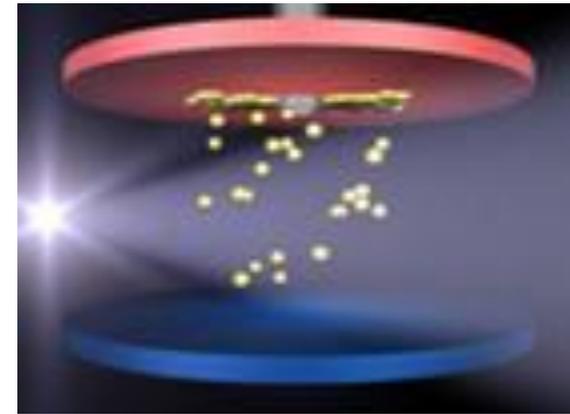
- Дифракция - свидетельство **волнового** процесса, связанного с моделью **«континуум»**.
- Объектами изучения были движущиеся **частицы**.
- В классике возможен только альтернативный выбор модели:  
**или** «корпускула», **или** «континуум».
- Очевидно, что вопреки классическим идеям их необходимо было сочетать!

**ИДЕИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОСТИ и ЦЕЛОСТНОСТИ**

# Определение заряда электрона. Опыты Р. Милликена. 1906 - 1912.

Нобелевская премия по физике 1923 г.

- Дискретность заряда электрона



«Наука шагает вперед на двух ногах – на теории и эксперименте... Иногда вперед выдвигается одна нога, иногда другая, но неуклонный прогресс достигается лишь тогда, когда шагают обе».

# Механизм излучения-поглощения и новая модель атома (Н.Бор. 1911)

- **Дискретный** ряд стационарного и возбужденных состояний электрона в атоме водорода.

**Классика:** Я могу находиться в любой точке и шагнуть на любое расстояние!

Нарушение непрерывности: **Не все** значения энергии разрешены!

**Неклассика:** Денежные знаки

- **Дискретное** поглощение и излучение при переходе из одного состояния в другое.

Нельзя «брать и отдавать» все подряд в любых количествах.

Поэтому возникают **спектральные** линии.

# Дискретность значений характеристик объектов Разрешенные и запрещенные состояния

Как следствие:

- Есть минимальный шаг изменений характеристик
- Всегда есть минимальное возможное значение характеристики, отличное от 0

# Теоретический анализ особенностей протекания явлений:

- излучения абсолютно черного тела,
- фотоэффекта,
- спектров химических элементов,
- дифракции электронов

привел к созданию **НОВОЙ МОДЕЛИ** объекта:

## 1. **Дополнительные наборы свойств:**

**и « корпускулярное», и «континуумное»**  
одновременно в одном объекте, но  
проявляющееся в разных экспериментах!

## 2. **Дискретность состояний и характеристик.** (Не всё можно, есть запреты).

# Принцип неопределенности В.Гейзенберга. 1927.

- Анализ модели де Бройля, содержащей волновые характеристики для движения корпускулы, привел к пониманию невозможности одновременного абсолютно точного определения (измерения, предсказания) значений некоторых пар характеристик, например,

координаты и импульса:

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

- Оказалось, что при точном измерении одной величины ( $\Delta x \rightarrow 0$ ), ошибка в измерении другой величины должна увеличиваться ( $\Delta p \rightarrow \infty$ ).

# СОСТОЯНИЕ -

это фундаментальная неклассическая модель, в которой одновременно учитываются:

**стохастическое** воздействие окружения,  
**реакция объекта** в форме случайного поведения его характеристик.

Случайные величины характеризуются средним значением и дисперсией.

$$A = \langle A \rangle \pm \Delta A$$

Состояние описывается на языке вероятностей в зависимости от специфики стохастического воздействия с помощью:

- Функции распределения  $W(A)$
- Плотности вероятности  $\rho_W(A) = \frac{dW}{dA}$

**Вероятностные характеристики состояния** находятся:

- либо из опыта,
- либо из уравнений

# Уравнение Шредингера

**позволяет непосредственно найти волновую функцию  $\Psi(x)$ , а через нее и вероятность  $W(x)$  для целого ряда конкретных ситуаций**

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \left( \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} \right) + E_p(x, y, z) \Psi = i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t},$$

**Для квантовых состояний уравнение Шредингера играет роль, аналогичную роли уравнения второго закона Ньютона в классической физике.**

«Волновые» характеристики ансамбля микрочастиц  $\lambda$ ,  $\omega$  порождаются стохастическим воздействием окружения. Они жестко связаны с характеристиками корпускулы  $p$  и  $\epsilon$  через постоянную Планка

$$\lambda = 2\pi\hbar / p; \quad \omega = \epsilon / \hbar;$$

Длина волны                      Импульс частицы                      Частота волны                      Энергия частицы

**Постоянная Планка – фундаментальная константа квантового стохастического воздействия**

- $\hbar = 1,06 \cdot 10^{-34}$  Дж · сек
- характеризует минимальное значение квантового стохастического воздействия окружения на объект<sup>26</sup>

# Неклассика – суммирование историй

- Все альтернативные варианты, с помощью которых может быть достигнут результат, имеют место и происходят одновременно.
- Каждая история вносит вклад с определенным весом
- Наблюдаемое настоящее - смесь всех возможных вариантов прошлого, совместимых с тем, что есть в данный момент
- Квантовая частица может одновременно находиться в разных точках пространства : **и** здесь, **и** там.
- Сочетание альтернативных возможностей – признак неклассической логики

**Логика «и-и»**

# Особенность квантовых состояний:

Квантовый объект может одновременно находиться в нескольких квантовых состояниях: **и** в состоянии  $|1\rangle$  **и** в состоянии  $|2\rangle$ ,

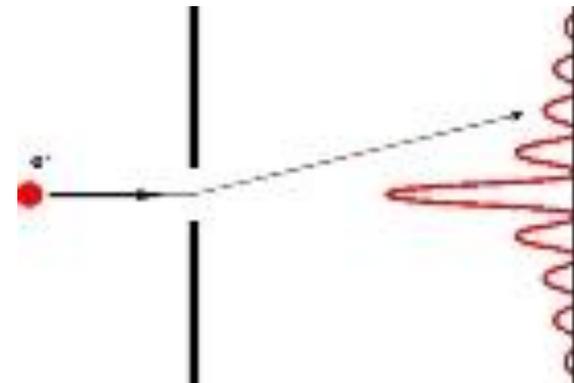
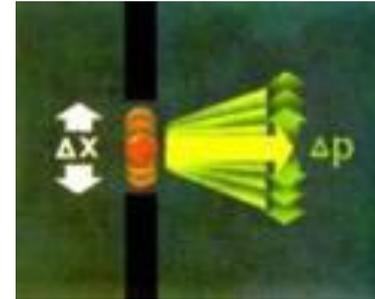
состояние  $|3\rangle = C_1 |1\rangle + C_2 |2\rangle$ ;  
возникает «смесь» (суперпозиция) состояний:

Парадокс Шрёдингера  
(кошка Шредингера)



# Измерения в квантовой механике

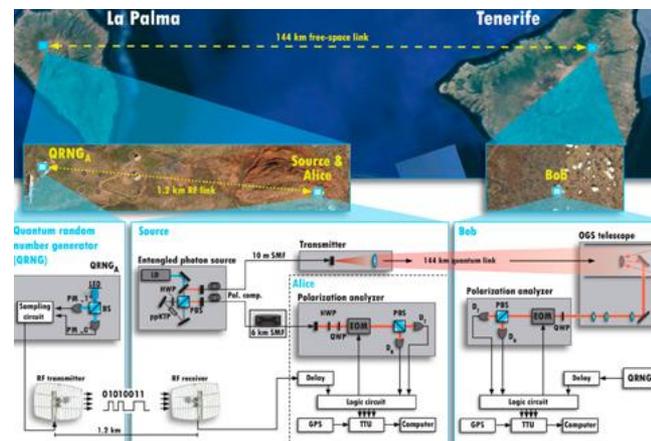
- Измерение в квантовой механике как результат взаимодействия микрообъекта с макроприбором
- Невозможность невозмущающих измерений
- Неотделимость наблюдателя от наблюдаемого объекта



# Проблема неполноты квантовой механики и теорема Белла для связанных (спутанных) фотонов

- ЭПР-парадокс (Парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена)
- Можно ли обойти принцип неопределенности? Есть ли конкретные значения физических характеристик микрообъекта до измерения?
- Локальный реализм Есть ли самодостаточность (пространственная разделенность) объектов?

Опыты Шайдла (144 км) на Канарских островах



Опыты Фридмана (1972), Аспе (1982), Вайса (1998), Шайдла (2008)

**ПОЛЯРИЗАЦИЯ ИЗМЕНЯЕТСЯ МГНОВЕННО,  
локального реализма нет!!!**

# Классификации элементарных частиц

## по массе покоя:

- фотоны,
- лептоны,
- мезоны,
- барионы;

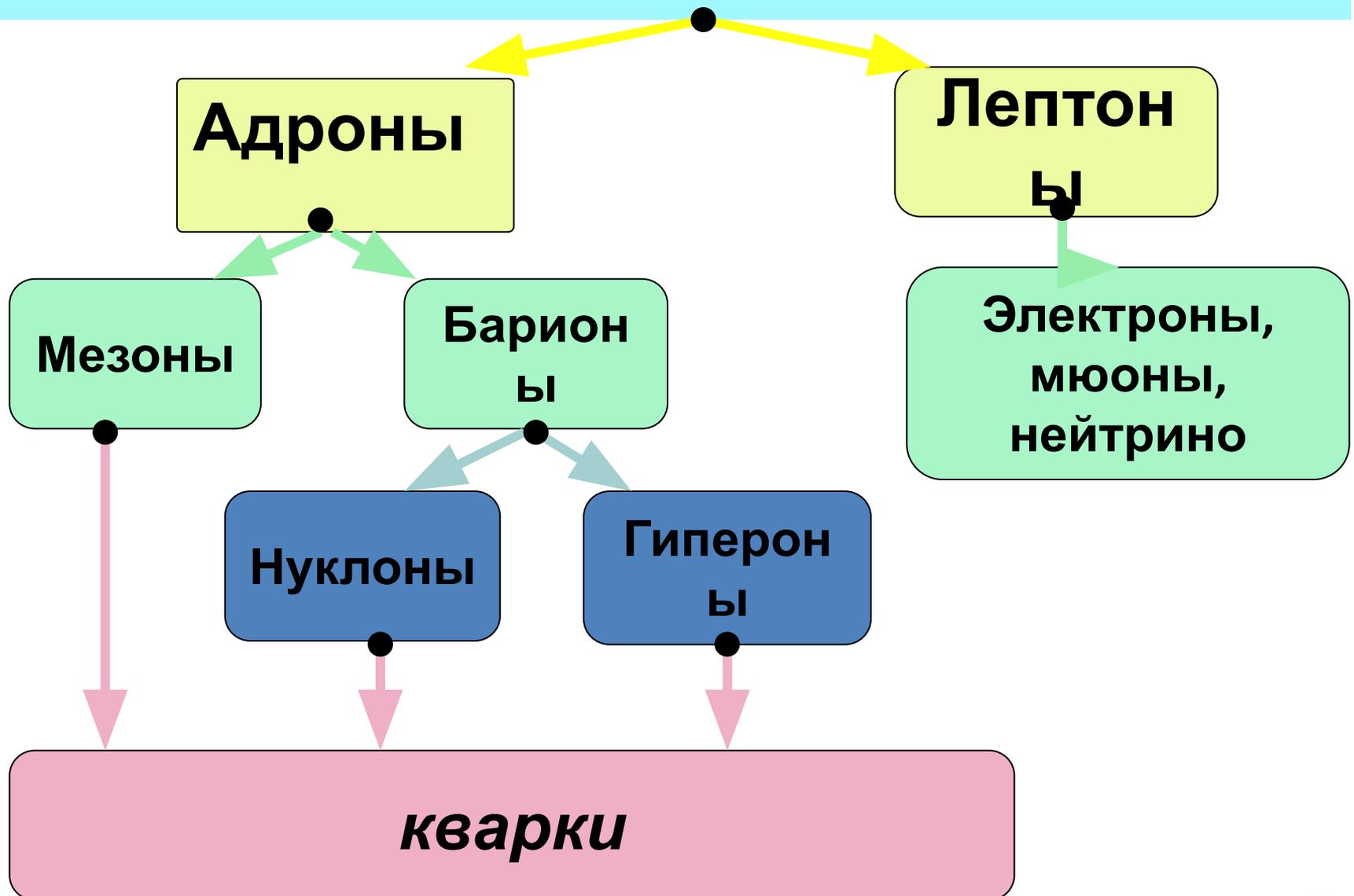
## по времени жизни:

- стабильные (протон, электрон, нейтрино и их античастицы)
- нестабильные (свободный нейтрон, резонансы).

### Особенности

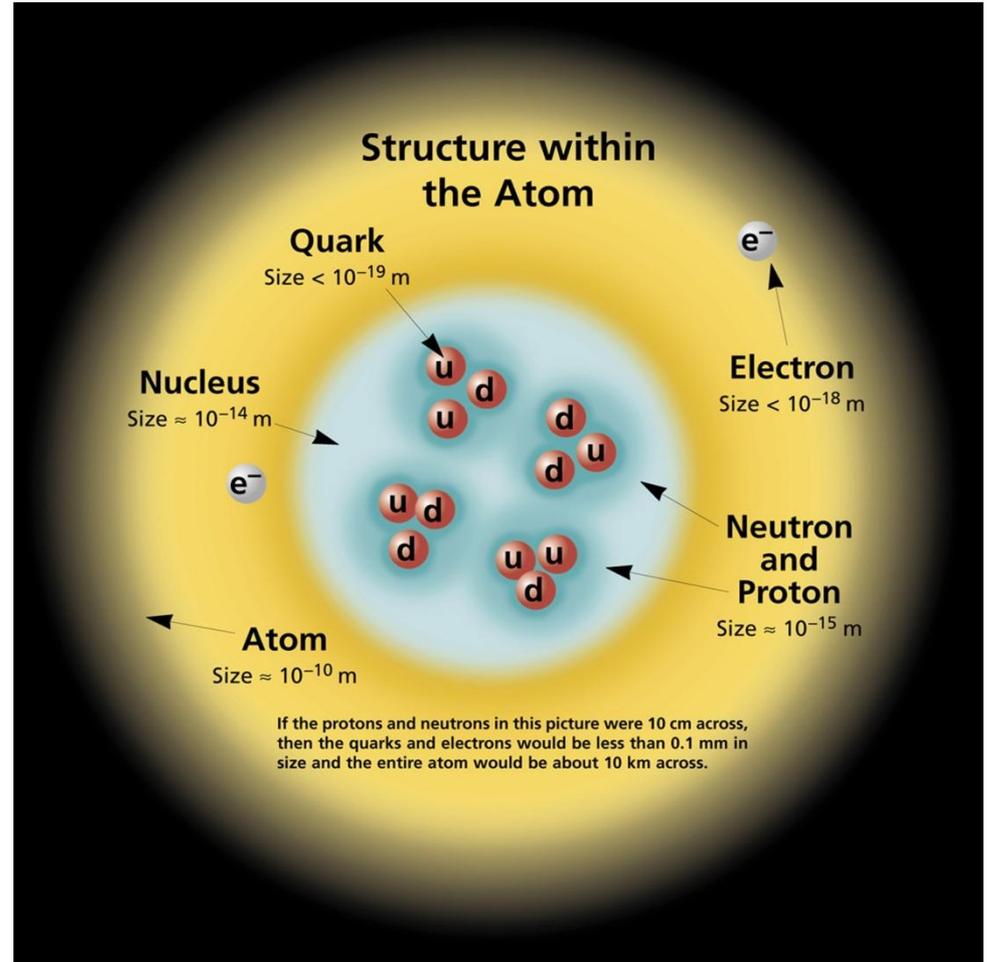
- Способность элементарных частиц к взаимным превращениям, не нарушающим законов сохранения.
- Тождественность частиц.

# Элементарные частицы



# Основные характеристики элементарных частиц

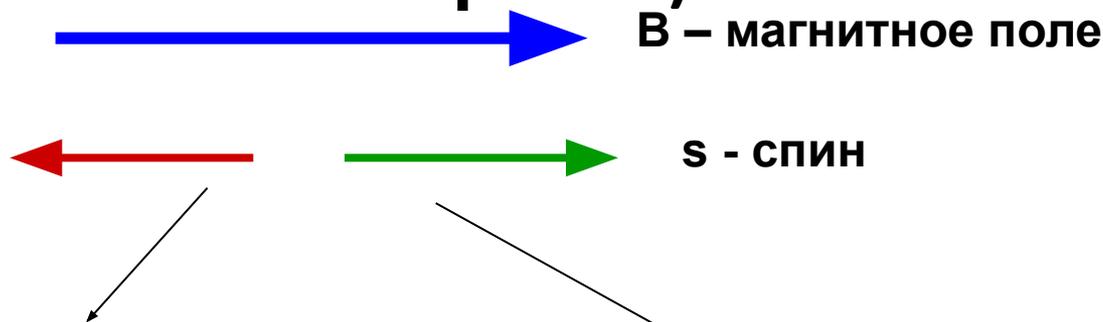
- масса
- заряд
- СПИН
- время жизни



# Спин – особая квантовая характеристика микробиъектов.

Проявляет себя:

- а) в магнитном поле (частица подобна магнитной стрелке)



Неустойчивое      Устойчивое положение

- б) в коллективах одинаковых частиц

# Классификация по величине спина

**Бозоны** (фотоны и другие переносчики взаимодействий)

$$s = 0, 1 \hbar, 2 \hbar, \text{ любое четное число } \hbar/2$$

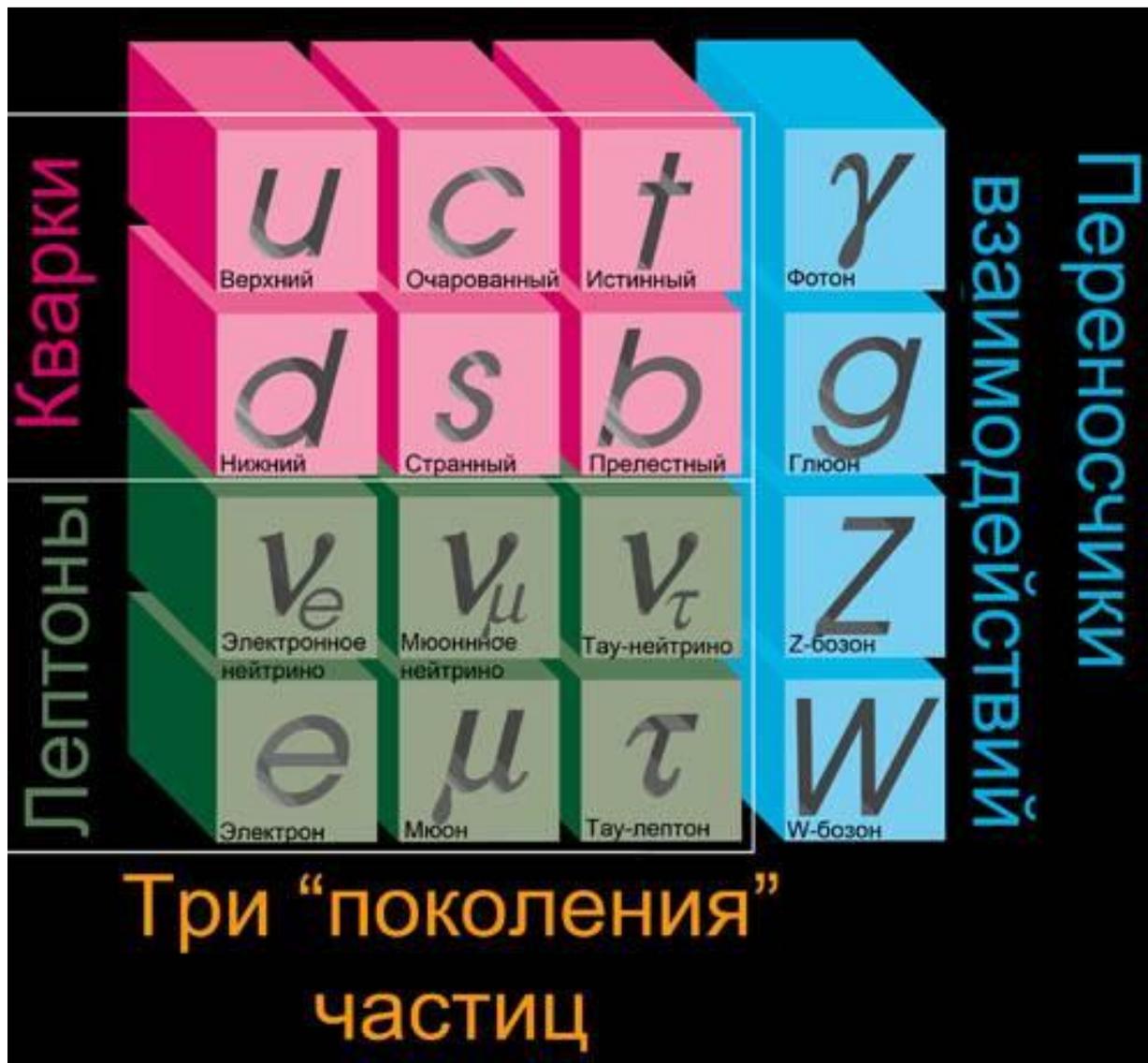
**Бозоны** могут скапливаться в одном состоянии без ограничения их количества – образовывать конденсат.

**Фермионы** (электроны, протоны, нейтроны и другие частицы с массой)

$$s = \frac{1}{2} \hbar, \frac{3}{2} \hbar, \frac{5}{2} \hbar, \dots \text{ (любое нечетное число } \hbar/2)$$

Два **фермиона** не могут находиться в одном состоянии! Должно быть различие хотя бы – **принцип (запрет) Паули**

# Фундаментальные частицы



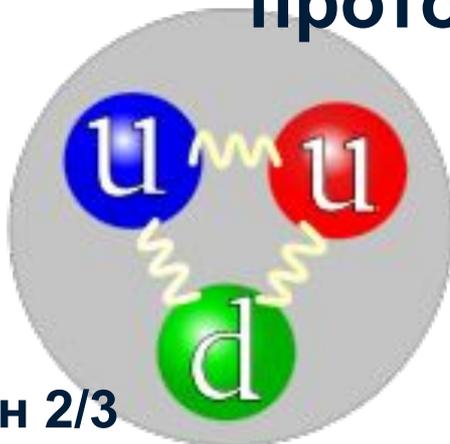
# Переносчики фундаментальных взаимодействий:

- **Фотон** – квант электромагнитного поля
- **Гравитон** – квант гравитационного поля
- **Глюон** – обменная частица сильного взаимодействия
- **Промежуточные бозоны** - обменные частицы слабого взаимодействия

# Кварки – структурные единицы протона, нейтрона, мезонов

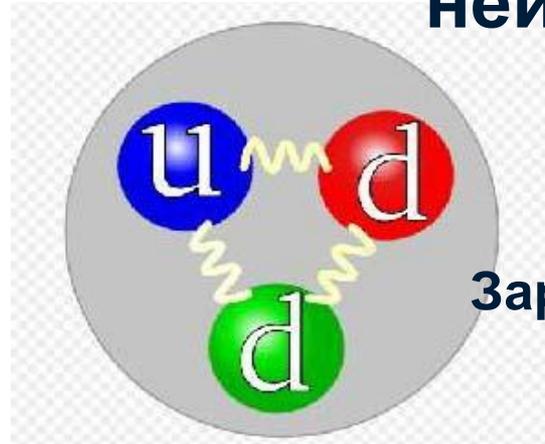
- **Кварки** столь сильно «склеены», что не могут вылететь на «свободу» (confinement).
- Переносчиками взаимодействия между кварками выступают **глюоны**. Их масса, как и масса фотонов, равна нулю.

протон



Заряд  $u$  равен  $2/3$

нейтрон



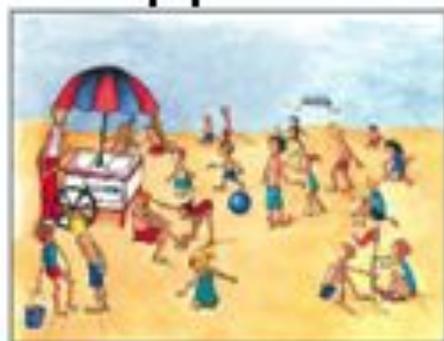
Заряд  $d$  равен  $-1/3$

# Нейтрино- удивительные частицы

- Имеют очень малую массу
- Двигутся со скоростями, близкими к скорости света
- Высокая проникающая способность
- Рождаются в результате слабых ядерных реакций на Солнце
- До Земли долетает лишь 1/3
  - Под влиянием гравитации по пути испытывают превращения (осцилляции)

$$\nu_e \rightarrow \nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$$

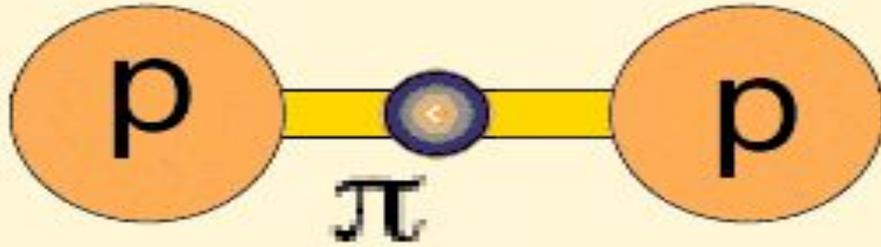
# Стандартная модель и поле Хиггса



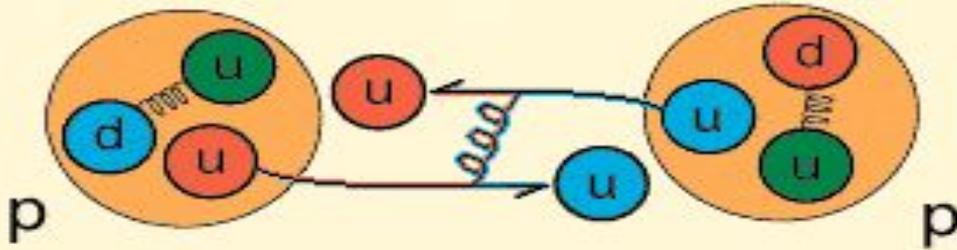
«Пустое» пространство, заполненное полем Хиггса, похоже на пляж, полный детей.

Частица, пересекающая область пространства, похожа на продавца мороженого.

Дети окружают тележку с мороженым и замедляют ее движение. В результате она приобретает массу.



## Сильное взаимодействие. Обменная модель



1. Участвуют кварки и глюоны и составленные из них частицы, называемые адронами (барионы и мезоны).
2. Действует в масштабах порядка размера атомного ядра ( $10^{-15}$  м) и менее.
3. Отвечает за связь между кварками в адронах и за притяжение между нуклонами в ядрах.

# Слабое взаимодействие

- Короткодействующее - проявляется на расстояниях, значительно меньших размера атомного ядра ( $10^{-18}$  м).
- слабее сильного и электромагнитного взаимодействий, но гораздо сильнее гравитационного.
- отвечает за бета-распад и другие реакции между фермионами
- Переносится виртуальными W- и Z-бозонами

Стандартная модель физики элементарных частиц описывает электромагнитное и слабое взаимодействия как разные проявления единого электрослабого взаимодействия (1968. Глэшоу, Салам, Вайнберг).

## **Темная материя**

- 1. Не светится.**
- 2. Участвует в гравитационном взаимодействии.**
- 3. Собирается в сгустки, образуя подобия галактик.**
- 4. Состоит из еще не открытых «частиц», родившихся в ранней Вселенной.**
- 5. Слабо взаимодействует с видимым веществом.**
- 6. «Частицы» этой материи предположительно тяжелее протона в 100 – 1000 раз.**
- 7. Около нас таких «частиц» порядка 1000 в 1 м<sup>3</sup>.**

## **Темная энергия**

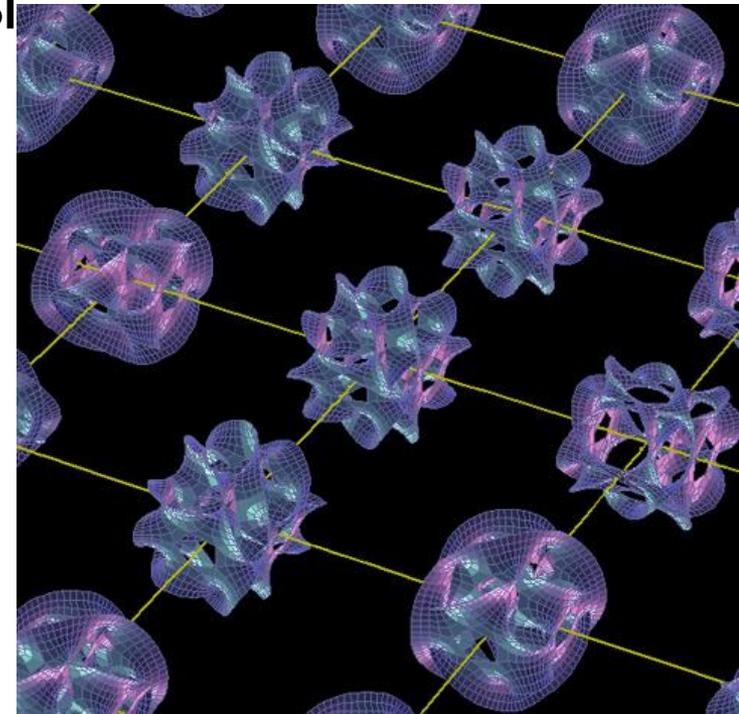
- 1. Распространена в пространстве равномерно.**
- 2. Порождает «антигравитацию», т.е. отталкивание.**
- 3. Претенденты - физический вакуум; «квинтэссенция» - новое сверхслабое поле; нечто, связанное с пространством многих измерений.**



# Теория суперструн

М.Грин

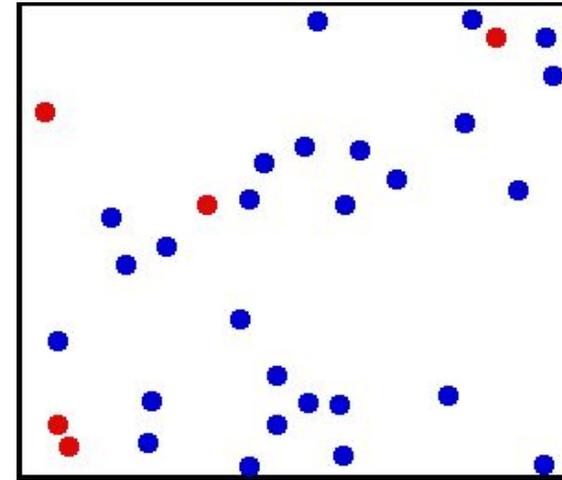
1. Струны (линия), мембраны (плоскость), браны - фундаментальные объекты, совершающие колебания.
2. Различные моды колебаний наблюдаются как различные виды элементарных частиц и их состояний.
3. Пространственно-временной континуум 11-и измерений.
4. Большая часть измерений (7) свернута и нами не воспринимается.



# Неклассичность классической термодинамики

# Основные положения молекулярно-кинетической теории

- Существуют
- Двигаются
- Взаимодействуют



## Модель идеального газа

- Размеры частиц много меньше расстояний между ними = **материальные точки** = размер и форму не учитываем.
- Потенциальная энергия частиц равна нулю = отсутствует взаимодействие между частицами.
- Все столкновения абсолютно упруги = частицы - абсолютно твердые тела = нет энергетических потерь при столкновениях

# Распределение молекул по скоростям в тепловом равновесии



Вероятность распределения молекул по скоростям



- В тепловом равновесии: температура всех областей системы одинакова, но скорости и энергии частиц – разные и имеют случайные значения.

# Первое начало термодинамики (закон сохранения энергии):

В замкнутой системе энергия не возникает из ничего и не исчезает в никуда.

Количество теплоты, полученное системой, идет на изменение ее внутренней энергии и на совершение работы системой.

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

где  $Q$  – количество теплоты,

$\Delta U$  - изменение внутренней энергии системы,

$A$  – работа, совершенная системой.

Невозможно создание вечного двигателя I рода.

## Второе начало (о необратимости тепловых явлений)

1. Энтропия замкнутой термодинамической системы возрастает («стрела времени») и достигает максимума в точке теплового равновесия.  **$dS \geq 0$**
2. Невозможно создание вечного двигателя II рода.
3. «Невозможен процесс, единственным результатом которого являлась бы передача тепла от более холодного тела к более горячему» (постулат Клаузиуса)

# О чем II начало?

## В замкнутой системе:

- направленность теплообмена (от горячего к холодному).
- неизбежное понижение качества энергии и повышения энтропии.
- нарастание беспорядка и разрушения структур.

# Энтропия Р.Клаузиуса (1865)

- является функцией термодинамического состояния системы и пропорциональна количеству связанной (внутренней) энергии, которую нельзя превратить в работу.

$$S = Q/T \text{ (} Q \text{ – теплота, } T \text{ - температура).}$$

При теплообмене между телами энтропии тел изменяются.

# Энтропия Л.Больцмана (1872) -

мера беспорядка,  
хаотичности и  
однородности  
молекулярных систем.

$$S = k \cdot \ln W$$

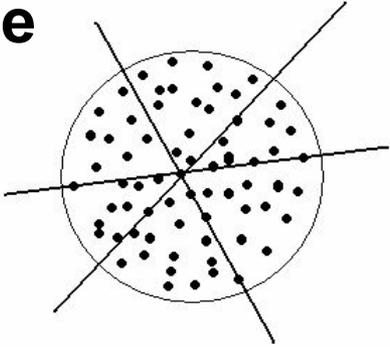
где  $k = 1,38$  Дж./К -  
постоянная Больцмана,  
 $W$  – количество  
перестановок молекул,  
не влияющее на  
макросостояние  
системы.

Наибольшей оказывается  
энтропия у равновесной,  
т.е. полностью  
беспорядочной системы.



# Хаос. Симметрия. Энтропия

Бесконечное множество осей симметрии в идеальном газе

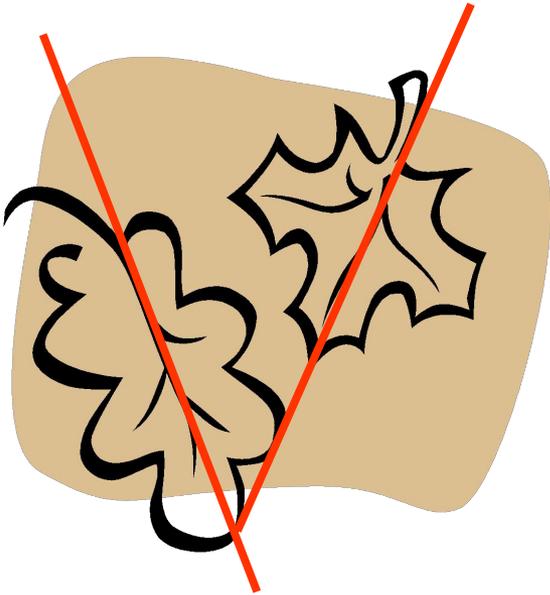
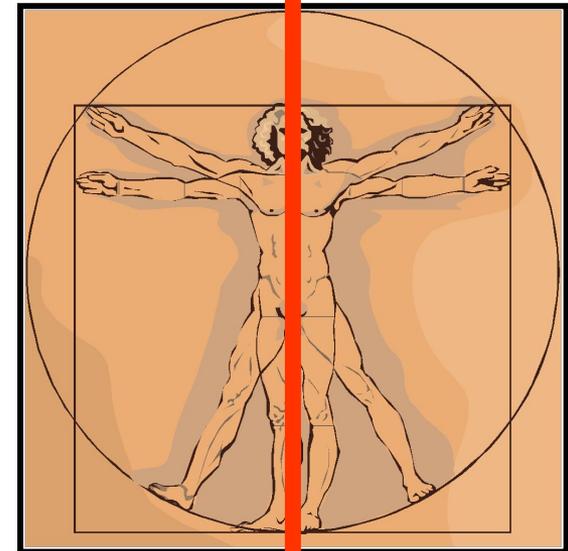


Чем **больше хаос** в системе, тем **больше** элементов **симметрии** (выше симметрия)

## В живой природе

Уровень организации (сложности) возрастает. Симметрия уменьшается.

- **Уменьшение** энтропии свидетельствует о **повышении** неоднородности (сложности) объекта



# Энтропия является мерой неупорядоченности системы:

- Чем **проще** система, тем она **более однородна** и **менее упорядочена**.
- В наиболее **однородном** состоянии система имеет **максимум энтропии**
- Тепловое равновесие – наиболее однородное (неупорядоченное) состояние – имеет **максимум энтропии**  $S_{max}$

# Третье начало (теорема Нернста)

Энтропия всякого тела стремится к нулю при стремлении к нулю его температуры.

## Нулевое начало

(постулат существования температуры)

Для каждой термодинамической системы существует состояние термодинамического равновесия, которое она при фиксированных внешних условиях достигает.

Эволюция закрытой системы –  
упрощение и дезорганизация