

***О ВЕЩАХ, МАЛЫХ***

***ПО ВЕЛИЧИНЕ...***

***НО НЕ ПО ЗНАЧЕНИЮ!***

***(КВАНТОВЫЙ МИР)***

***Блаженны алчущие и жаждущие  
правды, ибо они насытятся.***

***Евангелие от Матфея***

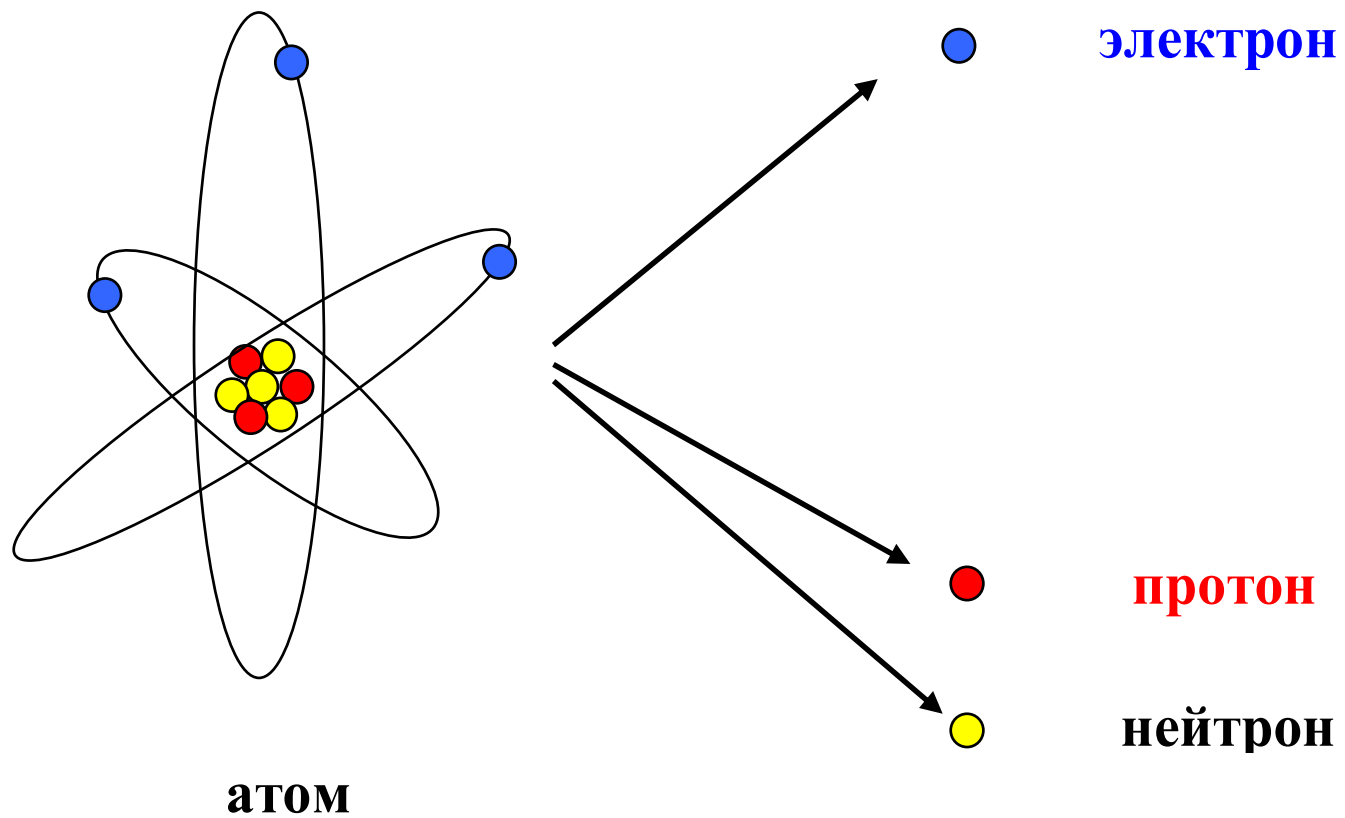
# Этапы изучения микромира:

- **Физика атомов и молекул**
- **Физика атомных ядер**
- **Физика элементарных частиц и их взаимодействий**

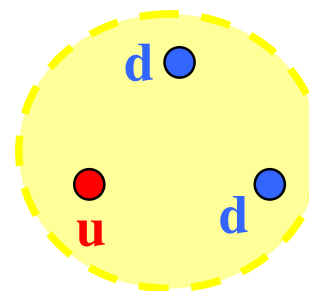
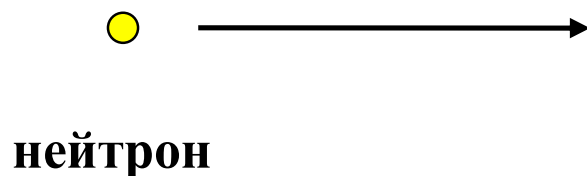
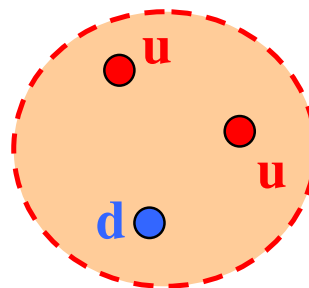
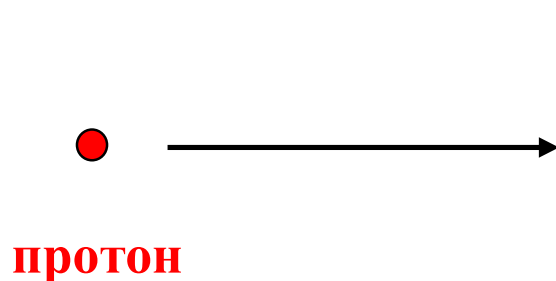
*масштаб:  $h \approx 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$*



# Путь внутрь атомов:



«обычное» вещество состоит из протонов, нейтронов и электронов



протоны и нейтроны состоят из кварков **u** (“up”) и **d** (“down”);

кварки и электрон похожи на «точечные» частицы (радиус более чем в 100000 раз меньше, чем у протона и нейтрона)

В космических лучах и с помощью ускорителей были найдены другие частицы.

# МАСШТАБЫ ЭНЕРГИЙ И РАССТОЯНИЙ В МИКРОМИРЕ

---

## Характерные величины

энергия

**1 эВ (электронвольт):**

Это энергия, которую приобретает электрон, пройдя между точками с разностью потенциалов в 1 В.

расстояние

**1 нм (нанометр):**

$1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$   
(миллиардная доля метра)

## Часто используемые единицы:

---

**1 МэВ (мегаэлектронвольт) =  $10^6$  эВ**  
(соответствует  $10^{-5}$  нм по «шкале расстояний»)

**1 ГэВ (гигаэлектронвольт) =  $10^9$  эВ**  
(соответствует  $10^{-7}$  нм по «шкале расстояний»)

**1 ТэВ (тераэлектронвольт) =  $10^{12}$  эВ**  
(соответствует  $10^{-10}$  нм по «шкале расстояний»)

<b>Структуры и явления</b>	<b>Размеры</b>	<b>Процессы перестройки и их энергетика (в пересчете на одну частицу)</b>
<b>молекулы и атомы</b>	<b>0,1 – 10 нм</b>	<b>Химические реакции: 0,1 – 100 эВ</b>
<b>атомные ядра</b>	<b><math>10^{-6} - 10^{-5}</math> нм</b>	<b>Ядерные реакции: <math>10^5 - 10^7</math> эВ</b>
<b>протоны и нейтроны</b>	<b><math>10^{-6}</math> нм</b>	<b>разрушение и образование кварковых структур: <math>3 \cdot 10^8</math> эВ</b>
<b>различие кварков</b>	<b><math>10^{-8}</math> нм</b>	<b><math>\beta</math>-распад, «слабые» процессы: <math>10^{10} - 10^{11}</math> эВ</b>
<b>масса материальных частиц</b>	<b><math>10^{-9} - 10^{-10}</math> нм</b>	<b>восстановление электрослабой симметрии: <math>10^{12}</math> эВ</b>
<b>различие кварков и лептонов</b>	<b><math>10^{-21}</math> нм</b>	<b>«Великое объединение»: <math>10^{23}</math> эВ</b>
<b>пространство и время</b>	<b><math>10^{-26}</math> нм</b>	<b>исчезновение расстояний: <math>10^{28}</math> эВ</b>

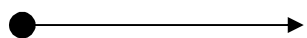


**МИР**  
**КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ**

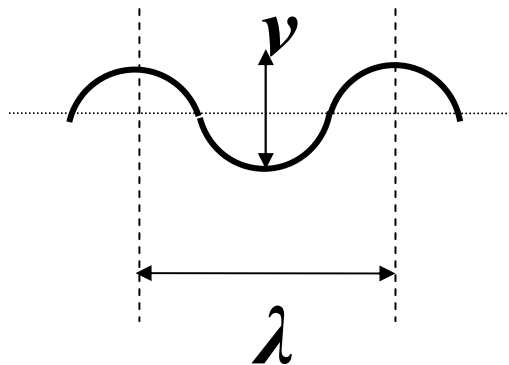
**МИР**  
**КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ**

**частицы**

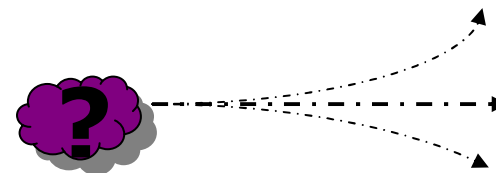
$$\vec{p} = m \cdot \vec{V}, E$$



**волны**

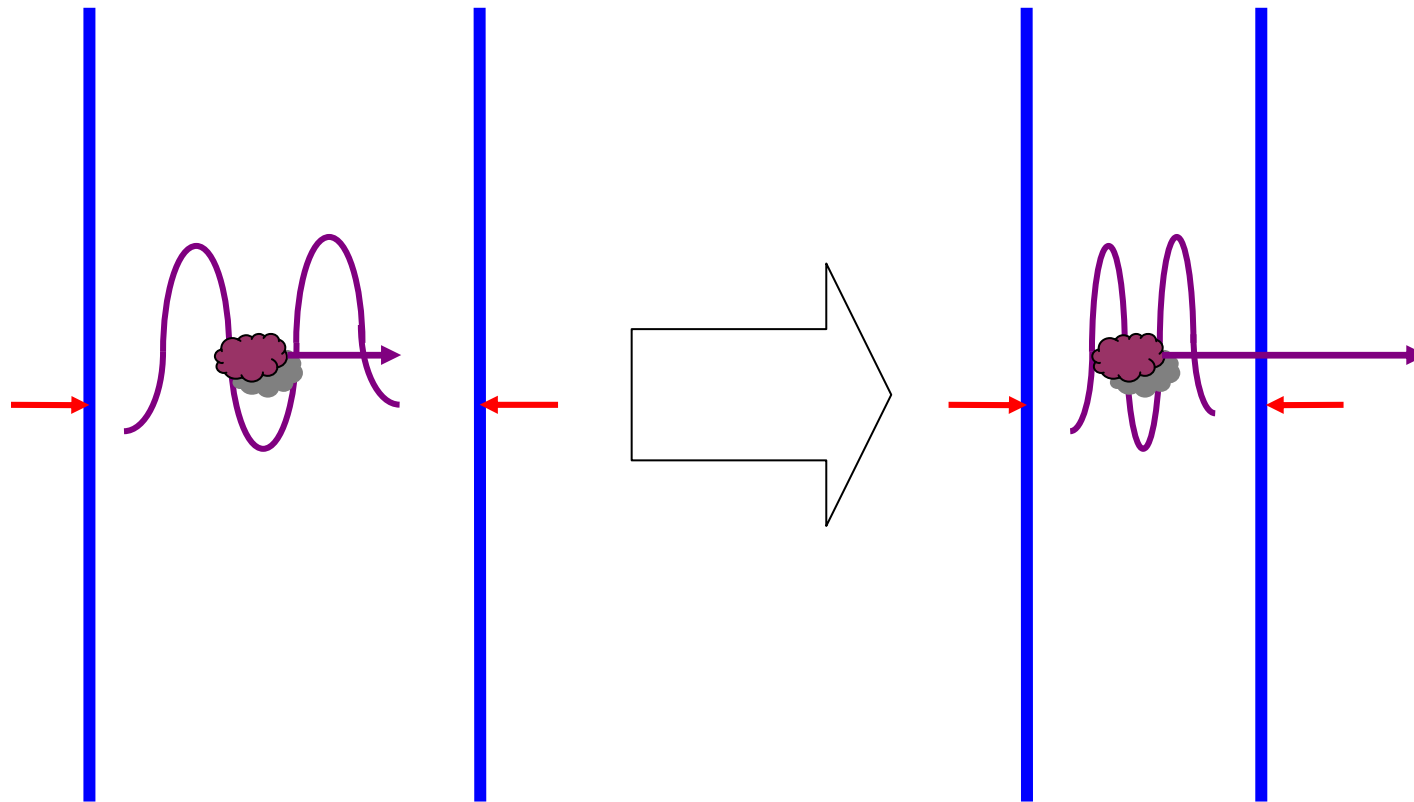


**«микрообъекты»**

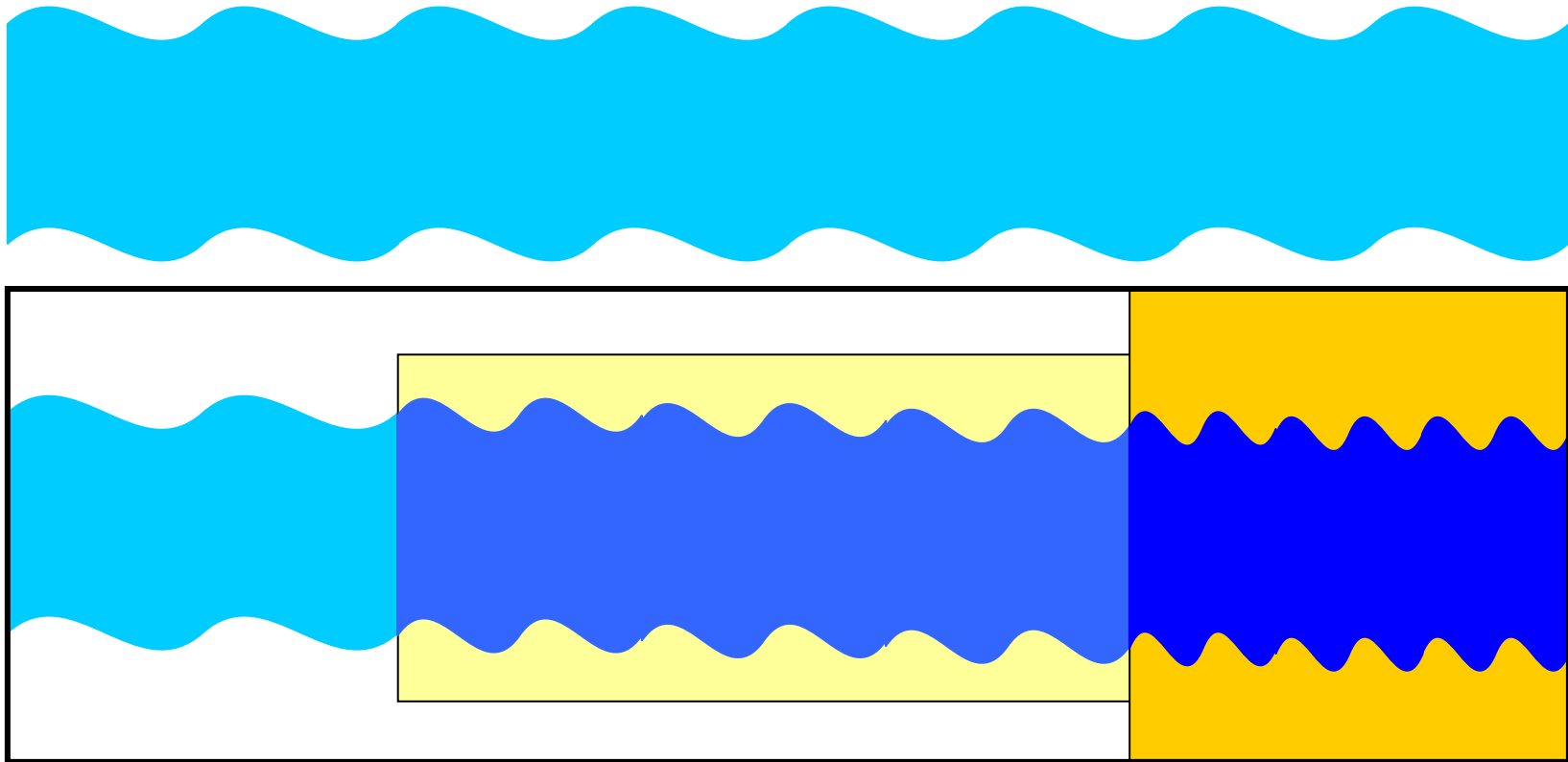


$$|\vec{p}| = \frac{h}{\lambda}, E = h\nu$$

# ПОПЫТКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТЫ МИКРООБЪЕКТА: «СЖАТИЕ ВОЛНЫ»



Ограничение волны приводит к искажениям



***неопределенности***

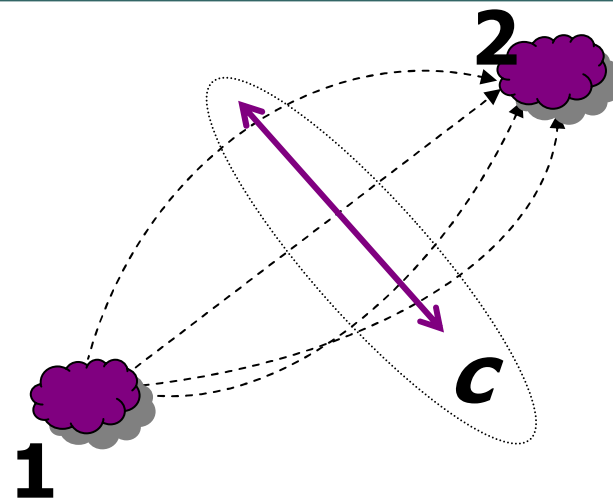
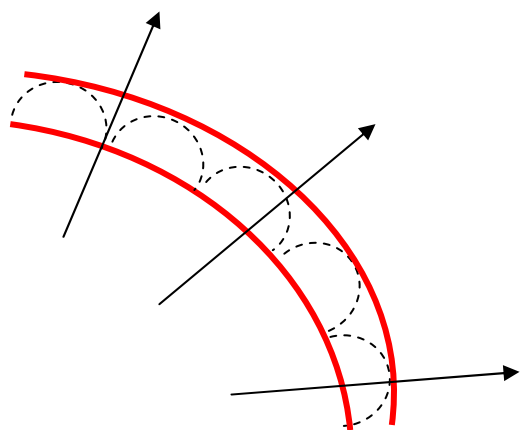
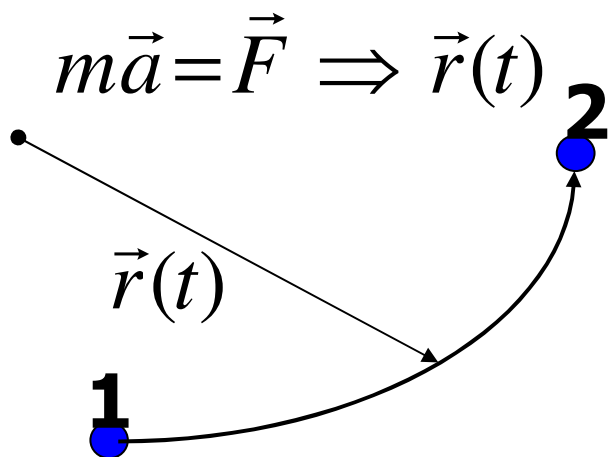
**значений**

**координаты и импульса**

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq h / 4\pi$$

**МИР**  
**КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ**

**МИР**  
**КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ**

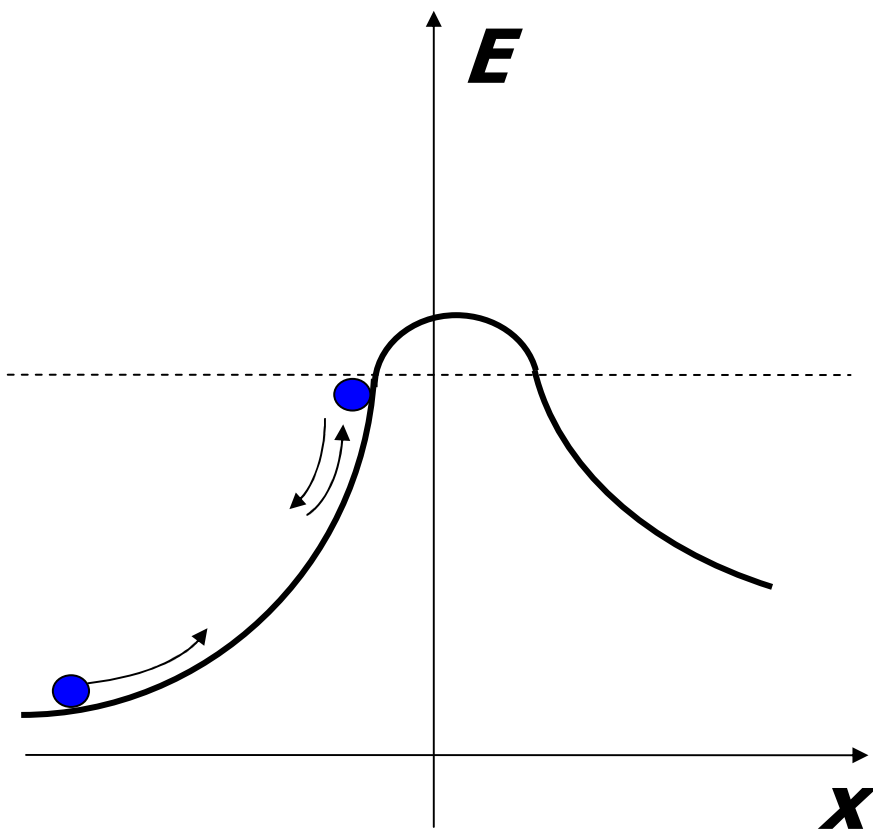


$$W(1 \rightarrow 2) = \sum_c W(1 \rightarrow c \rightarrow 2)$$

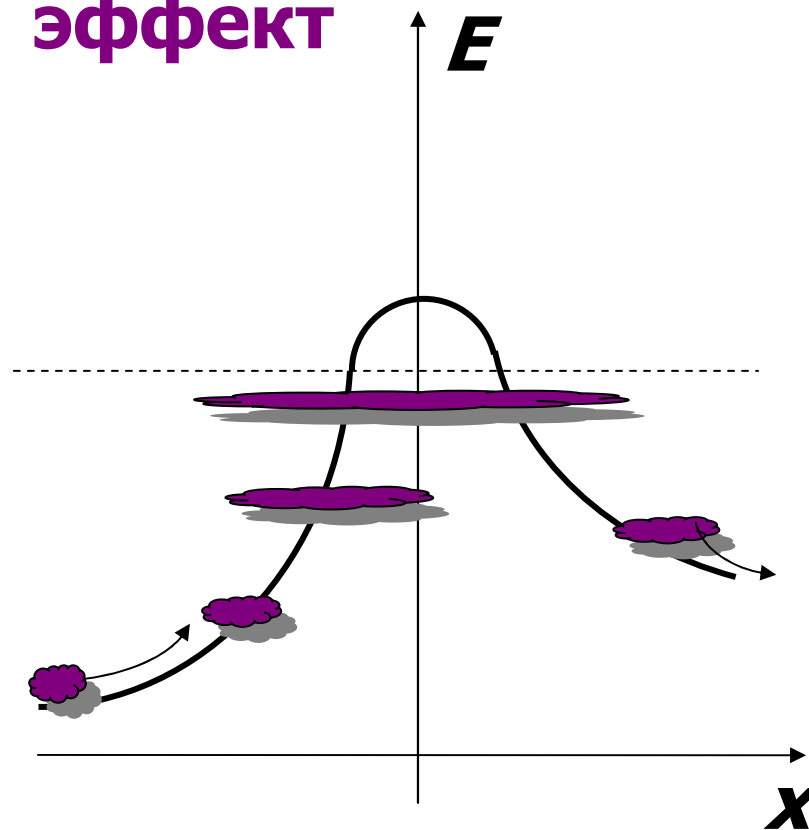
**МИР**  
**КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ**

**МИР**  
**КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ**

**отражение**



**туннельный эффект**

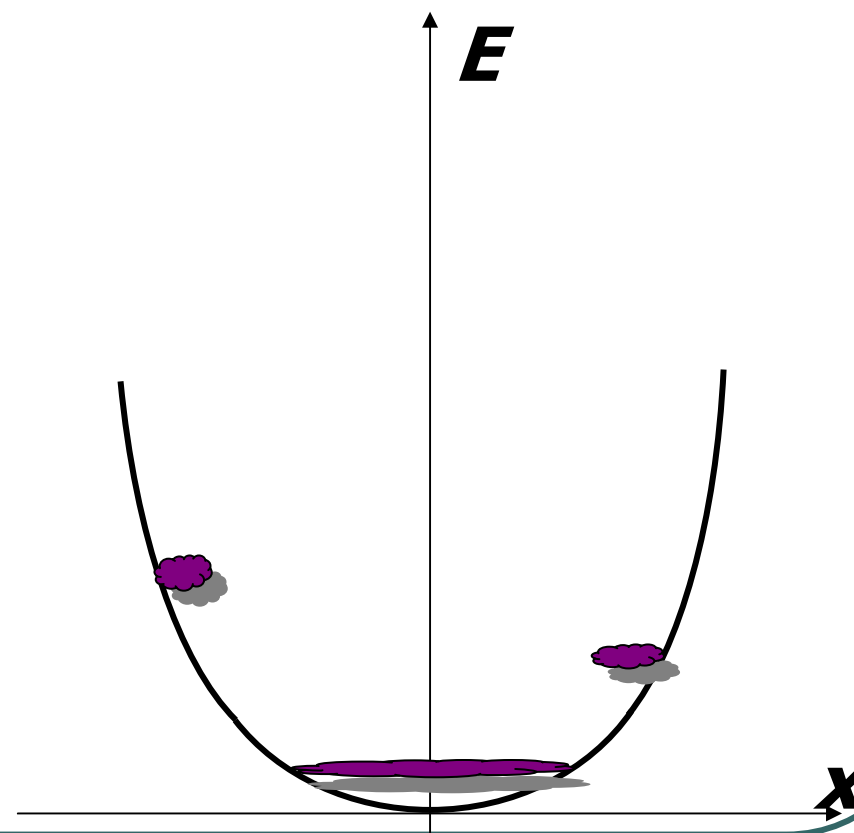
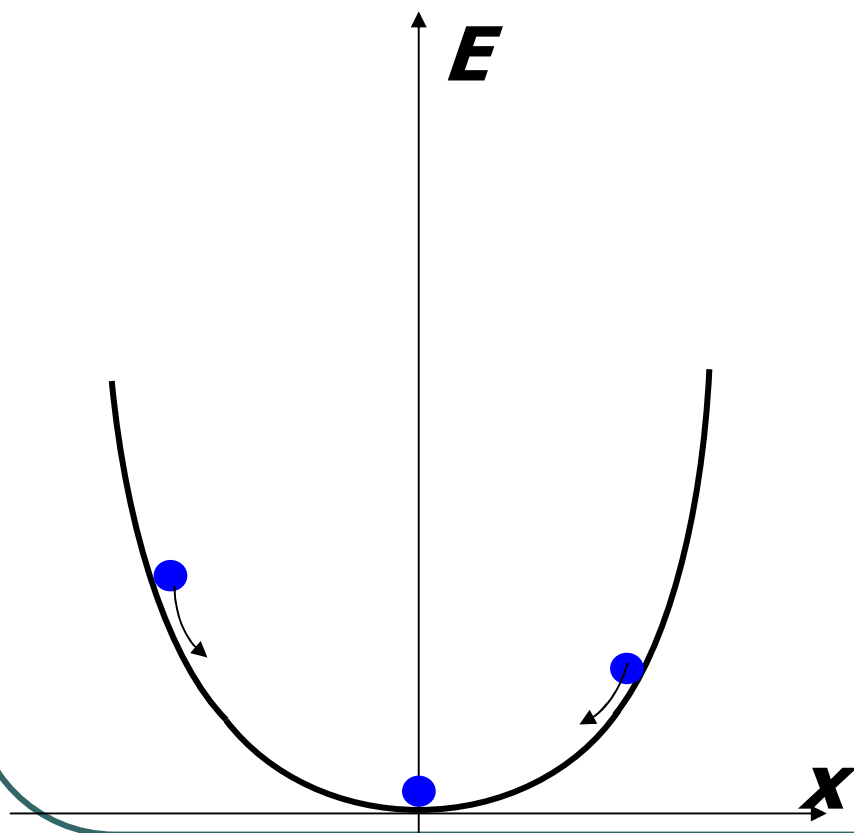


**МИР**  
**КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ**

**МИР**  
**КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ**

$$E_{min} = 0$$

$$E_{min} = h\nu/2 > 0$$

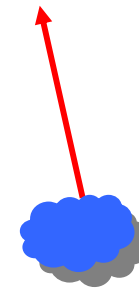
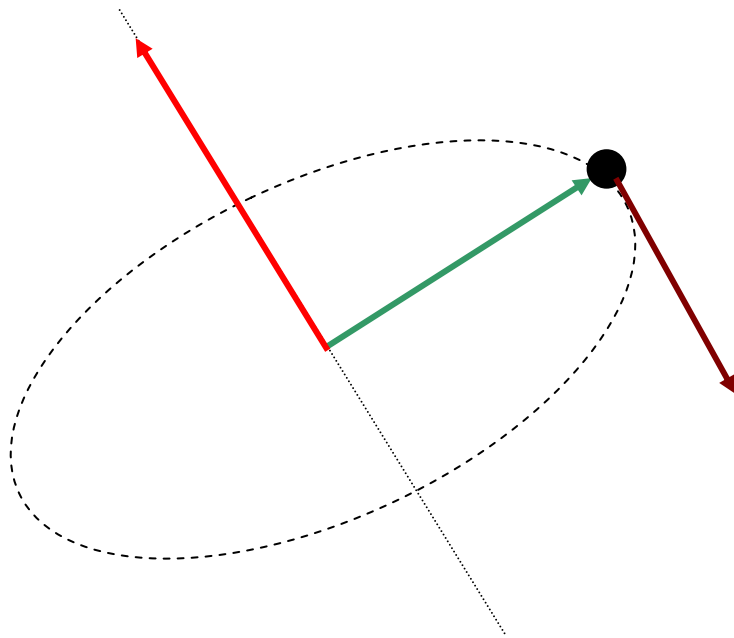


**«СПИН» ≡**

**«собственный» момент количества движения квантовой частицы**

$$\vec{L} = [\vec{r} \times \vec{p}]$$

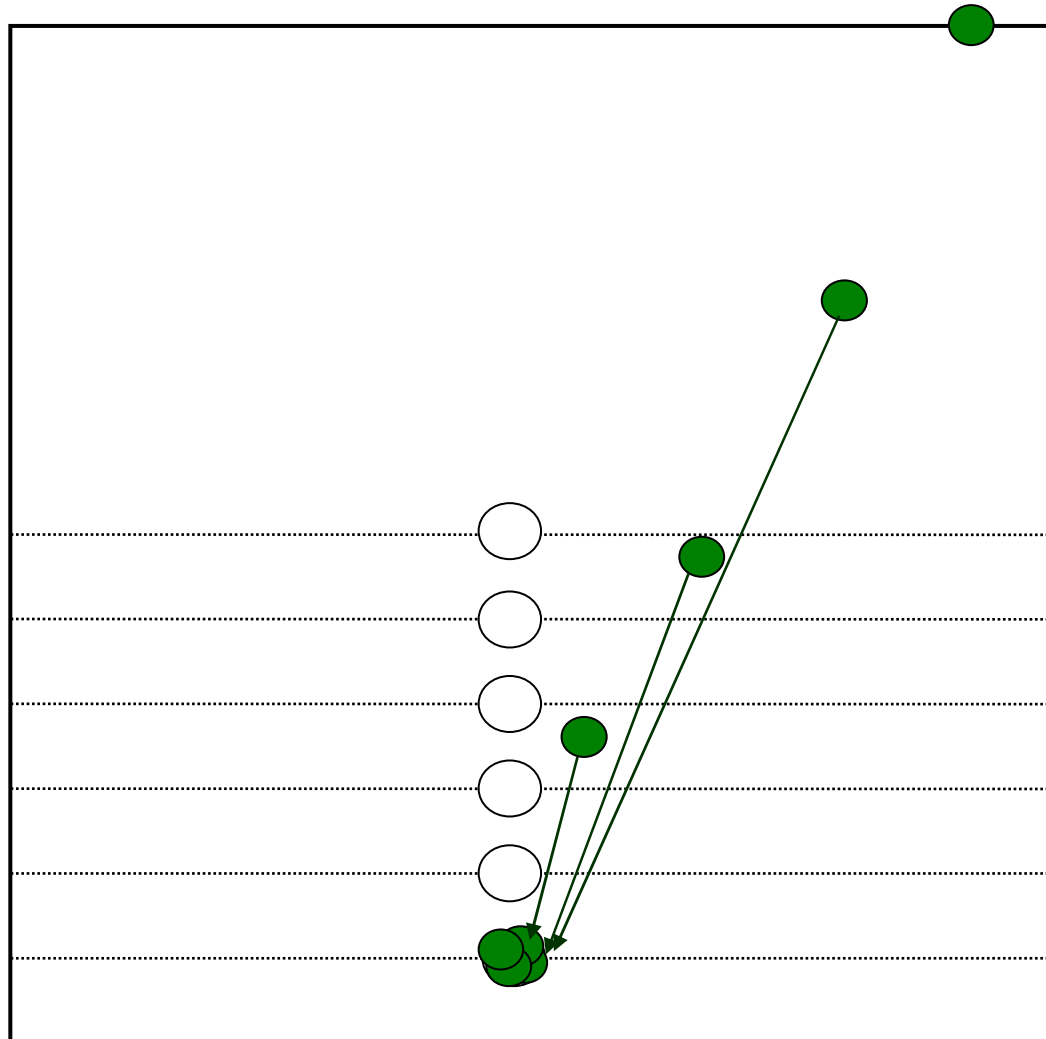
$$\vec{S}$$



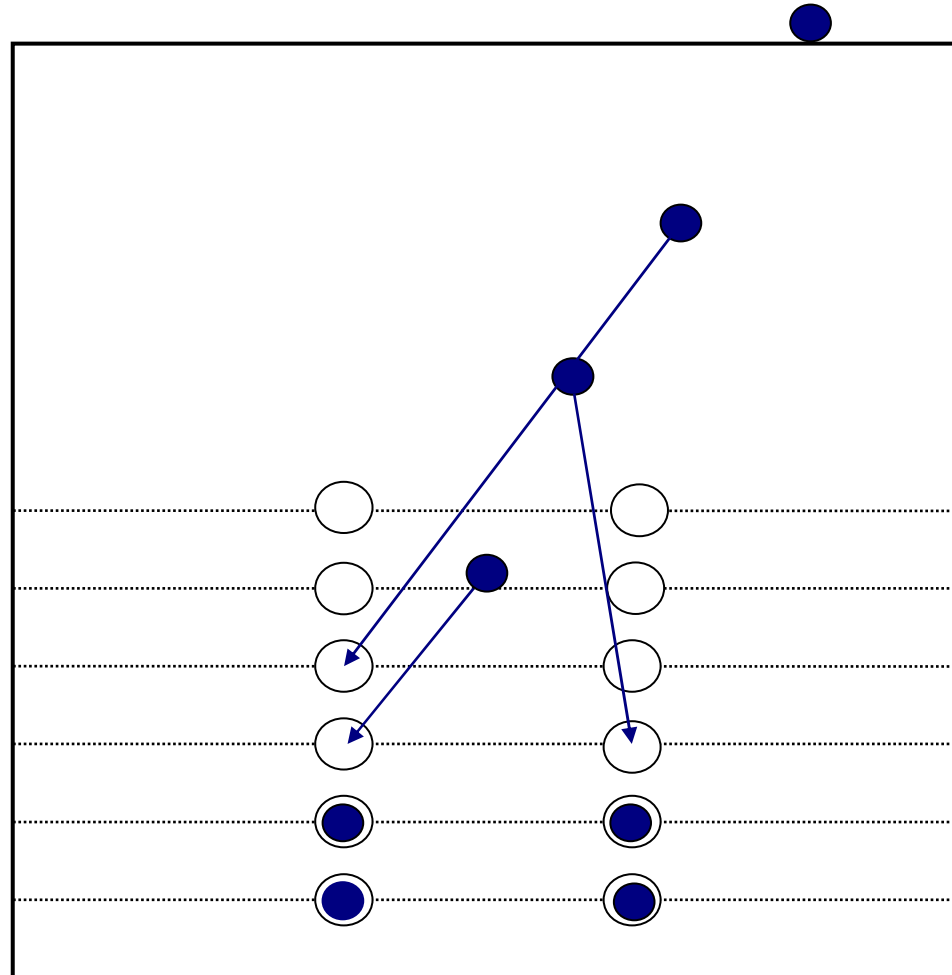
$$|\vec{S}| = 0, \frac{h}{4\pi}, \frac{h}{2\pi}, \frac{3h}{4\pi}, \dots$$



**$S=0,1,2 \dots$  - бозоны:**  
«любят компанию»



$S = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \dots$  - **фермионы:**  
«ИНДИВИДУАЛИСТЫ»



# Поиск «первопричины ВСЕГО»

- почему у частиц есть **МАССА**?
- почему у частиц есть **ЗАРЯД**?
- почему у частиц есть **СПИН**?
- почему происходят **КВАНТОВЫЕ ФЛУКТУАЦИИ**?
- почему **ВСЕ** ?

**ВСЕ -**

- ... ИЗ ПУСТОТЫ  
ТО ЕСТЬ

ИЗ **ВАКУУМА!**

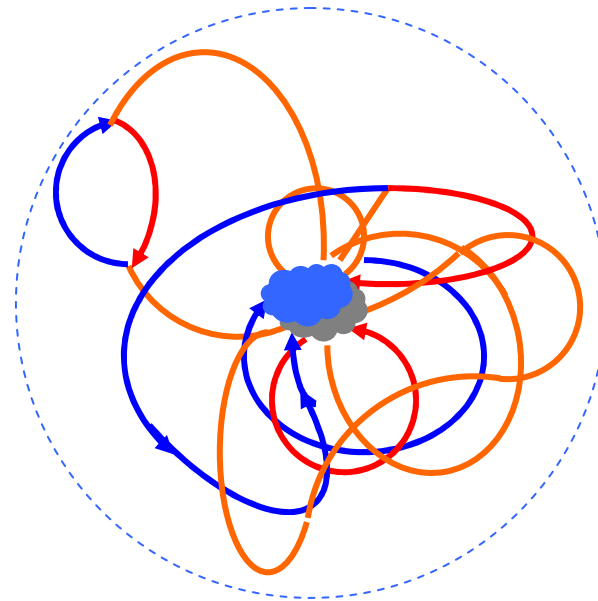
# «ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ МИКРООБЪЕКТ»:

*локализованное возбуждение вакуума с  
определенными значениями массы, спина и  
зарядов*

**Например:**

**«электрон»**

- $m \approx 0,511 \text{ МэВ,}$
- $s = 1/2,$
- $Q = -e$



Основная проблема физики микромира:



Изучение **ВАКУУМА** и его роли в наблюдаемых процессах.

Учет вакуумных вкладов в наблюдаемые характеристики систем приводит к появлению **расходимостей** – бесконечно больших вкладов. Устранение расходимостей требует выявления **симметрий** мироздания.

*Наш мир – не завершение:  
Там, дальше – новый круг,  
Невидимый – как музыка,  
Вещественный – как звук.  
Он манит и морочит,  
И должен – под конец –  
Через кольцо Загадки  
Пройти любой мудрец.*

**Эмили Дикинсон**

