

# Поле и вещество.

## Фундаментальные взаимодействия

### Вопросы

- Из чего «сделана» Вселенная?
- Какие силы движут миром?
- Фундаментальные законы и принципы физики (семинар)
- Связь симметрии и законов сохранения (семинар)

# Поле и вещество (виды материи)

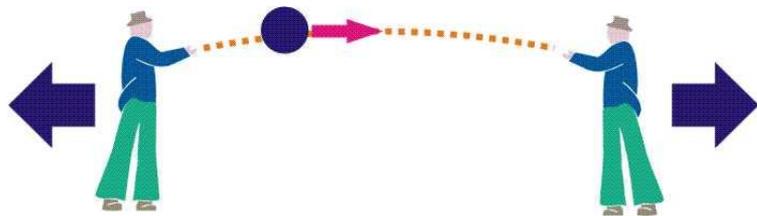
- **Примеры полей? Веществ?**
- **Чем отличается поле от вещества?**
- **Можно ли сказать, что вещество состоит из частиц, а поле - нет?**
- **Поле – «безмассово». Вещество - состоит из частиц, имеющих массу (массу покоя!)**

# Понятие поля

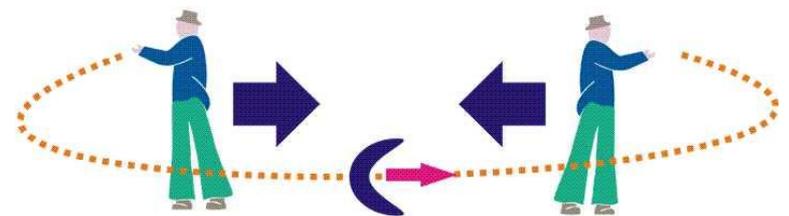
**Поле** – это некая материальная субстанция, являющаяся переносчиком физических взаимодействий

*дальнодействие* – взаимодействие мгновенно, через пустоту

*близкодействие* – взаимодействие переносит поле, с конечной скоростью



*отталкивание*



*притяжение*

# Фундаментальные взаимодействия

## Виды фундаментальных взаимодействий

## Их роль во Вселенной

**гравитационное**

необходимо для возникновения звезд из газопылевых туманностей, для существования планетных систем

**электро-магнитное**

необходимо для существования атомов

**сильное ядерное**

обуславливает существование и стабильность ядер атомов

**слабое ядерное**

необходимо для термоядерного синтеза – источника звездной энергии

# О классификации законов

- **эмпирические и фундаментальные законы**  
относятся к своей предметной области
- **принципы**  
относятся ко всем формам движения материи
- **законы сохранения**  
энергии, импульса, момента импульса, заряда ...

# Эмпирические и фундаментальные законы

- **Эмпирические законы** — обобщение опытных фактов  
Закон Ома, закон Кулона, закон Гука ...
- **Фундаментальный закон** — требуют выхода за рамки наблюдаемого

## Примеры:

- Законы Ньютона в механике
- Начала термодинамики
- Периодическая таблица Д.И. Менделеева

# Фундаментальные принципы

- принцип **относительности** (А. Эйнштейн)
- принцип **суперпозиции**  
поля, создаваемые разными источниками, складываются
- принцип **наименьшего действия** (Гамильтон)  
действие минимально на истинных траекториях системы
- принцип **дополнительности** (Н. Бор)  
и принцип **неопределенности** (В. Гейзенберг)
- принцип **соответствия**



# Законы сохранения

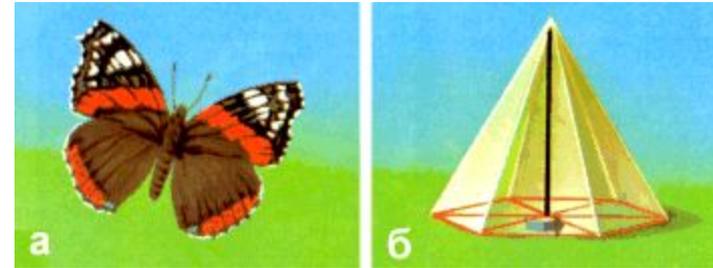
– существует величина, которая остается неизменной во времени и при различных процессах

- **Электрический заряд** –  
два знака, изменяется дискретно  
*Есть общий заряд мира, который остается неизменным*
- **Другие заряды** – лептонный, барионный ...
- **Энергия** –  
множество видов энергии, изменяется непрерывно
- **Импульс, момент импульса** ...

**Законы сохранения выполняются во всех процессах, на всех уровнях описания**

# Симметрия

*неизменность объекта  
(процесса) при каком-либо  
преобразовании*



## Типы:

**Геометрические** (поворот, зеркальное отражение) и  
**негеометрические** (однородность пространства и времени)

<b>Симметрия</b>	<b>Закон сохранения</b>
однородность времени	энергия
однородность пространства	импульс
изотропность пространства	момент импульса
калибровочная симметрия	заряд

# Микромир

## Вопросы

- Развитие представлений о строении вещества (семинар)
- Кризис классической физики в конце XX века
- Фундаментальные идеи квантовой физики
- Открытия и технологии квантовой эры
- Элементарные частицы: история открытий и современная классификация (самостоятельно)

# Развитие представлений о веществе

Две основные концепции о строении материи

- **атомизм**: существование мельчайших неделимых частиц
  - античный атомизм – химические атомы – молекулярно-кинетическая теория
- **учение о стихиях**: вещество распределено равномерно, мельчайшей единицы нет
  - аристотелевская физика – теория близкодействия – теория электромагнетизма

# Проблемы в классической физике конца XIX века

Середина 19 века - общеприняты идея атомов и молекулярно-кинетическая теория

- Периодический закон Менделеева (1869)
  - Дискретные спектры излучения и поглощения и Фотоэффект
  - Открытие радиоактивности (1896) и электрона 1897
- Невозможность объяснения теплового излучения тел (ультрафиолетовая катастрофа!)

# Развитие квантовой физики

- 1900** – гипотеза о квантах излучения (М. Планк)
- 1905** – объяснение фотоэффекта (А. Эйнштейн)
- 1911** – планетарная модель атома Резерфорда
- 1913** – квантовая модель атома (Н. Бор)
- 1924, 1926** – представление о волнах материи (Луи де Бройль) и уравнение для них (Э. Шредингер)
- 1925** – матричная механика (В. Гейзенберг, М. Борн)
- 1926** – принцип запрета (В. Паули)
- 1927** – «соотношение неопределенностей» (В. Гейзенберг)

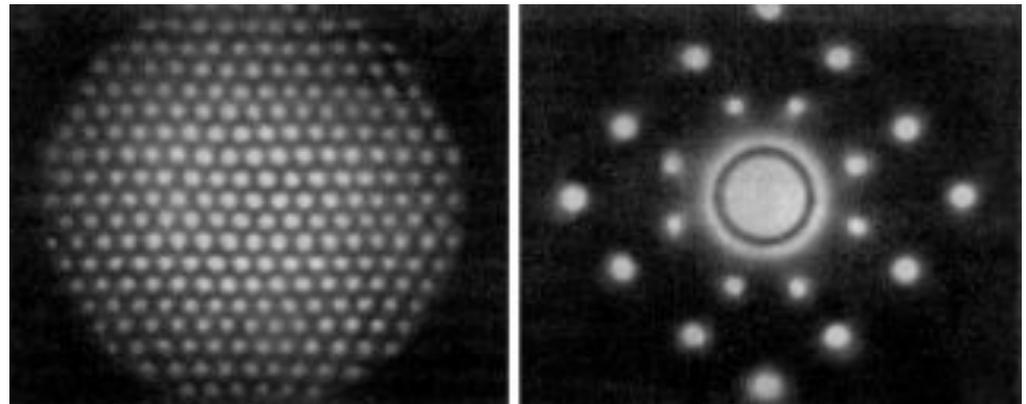
# Корпускулярно-волновой дуализм

**микрочастицы проявляют свойства частиц**

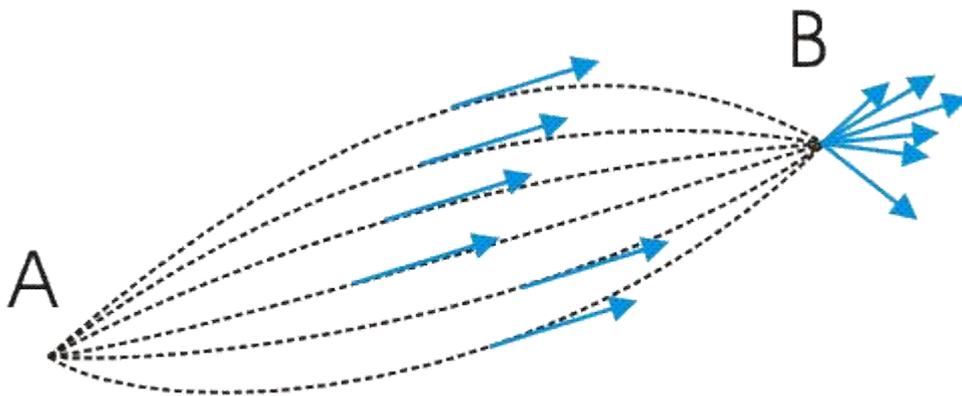
- **фотоэффект** – испускание электронов веществом под воздействием света
- **эффект Комптона** – рассеяние фотонов на электронах

**И ВОЛН**

- **дифракция и интерференция**



# Принцип неопределенности



Движение квантовой частицы из А в В описывается как движение по всем возможным траекториям с разной вероятностью.

Импульс в точке В не определен, координаты частицы с данным импульсом не определены.

*(неопр. координаты) x (неопр. импульса) = константа*

# Принцип дополнительности

Все опытные данные описываются на языке  
классической физики

Поведение квантовых объектов невозможно резко  
отграничить от их взаимодействия с  
измерительными приборами

- ✓ В силу этого опытные данные должны рассматриваться как **дополнительные** – только совокупность разных явлений может дать более полное представление о свойствах объекта

***Нильс Бор***

# Фундаментальные идеи квантовой физики

- **дискретность (квантовость)** - микрообъекты не могут менять свое состояние *непрерывно*, только скачком (объяснение орбит электрона в атоме, решение ультрафиолетовой катастрофы) - М.Планк
- **вероятностный характер эволюции** (движения) микрообъектов - отказ от классического детерминизма - Э.Шредингер
- **корпускулярно-волновой дуализм** - частицам присущи волновые черты, волнам - корпускулярные (отказ от подхода частица или волна - дуализм) - Л.де Бройль, Н.Бор, М.Борн.
- **принцип неопределенности Гейзенберга** - невозможность получения полной и одновременно точной информации о микрообъектах, изменение представлений о самой процедуре измерения, о взаимодействии объект-субъект.
- **принцип запрета Паули** – невозможность для электронов и некоторых других частиц такого же типа занимать одно состояние (этот принцип лежит в основе объяснения периодического закона Менделеева).

# Что объяснила квантовая физика

*"Самая подтвержденная теория"*

*(Р. Фейнман)*

## Получили объяснение

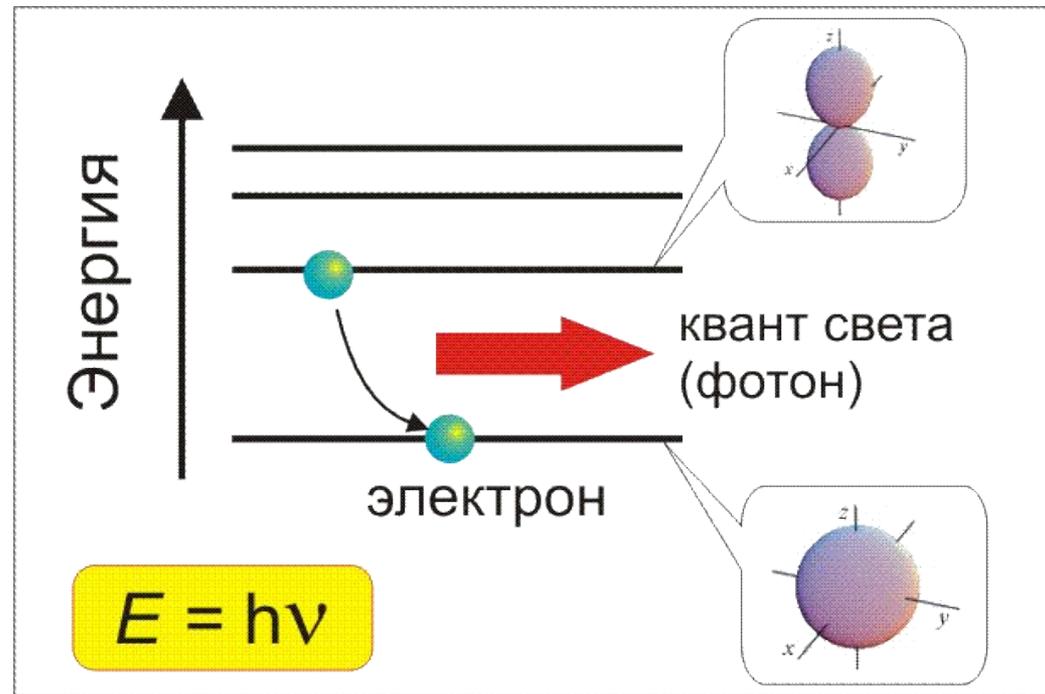
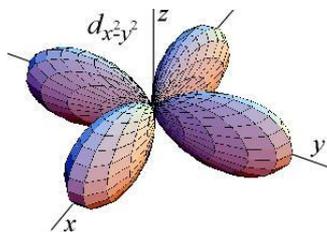
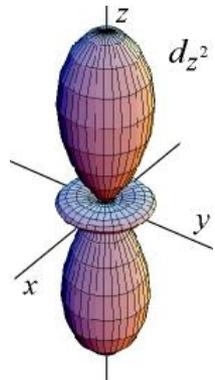
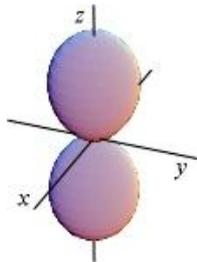
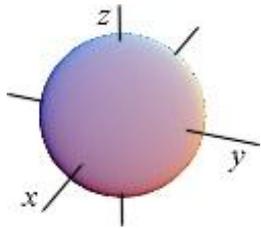
строение атома, спектры, периодическая таблица,  
природа химической связи, строение твердых  
тел, магнетизм ...

## Новые явления

сверхпроводимость и сверхтекучесть, туннельный  
эффект, античастицы ...

# Строение атома и спектры

Распределение  
электронной плотности  
в атоме водорода



Квант света рождается при переходе электрона из состояния с большей энергии в состояние с меньшей энергией.

# Применение в технологиях

- современная электроника
  - спектроскопия
  - атомная энергетика
  - лазеры
  - голография
  - ...
- нанотехнологии
  - квантовые компьютеры
  - ...

# Элементарные частицы

До начала 20 века атом считался неделимым

## Открытие первых элементарных частиц

Радиоактивность – 1896 год, Беккерель

(способность некоторых атомных ядер самопроизвольно распадаться с испусканием других частиц – альфа, бета, гамма излучения)

Электрон – 1897 год, Томсон

Атомное ядро – 1911 год, Резерфорд

Нейтрон – 1932 год, Чедвик

Нейтрино – 1930 год, Паули

Позитрон – 1928 год, Дирак

**На сегодняшний день –  
более 350  
элементарных  
частиц**

# Классификация элементарных частиц

Различаются характеристиками:  
спин, заряды, тип, время жизни ...

- **Спин – бозоны и фермионы**

**Бозоны** – спин 0, 1, 2 ...

соответствуют классическим полям, создают силы,  
действующие между частицами вещества

**Фермионы** – спин  $1/2$ ,  $3/2$  ...

соответствуют частицам вещества, подчиняются  
принципу Паули

# Типы элементарных частиц

**Лептоны** – электрон ( $e$ ), нейтрино ( $\nu$ ), мюон ( $\mu$ )...  
не участвуют в сильном взаимодействии

**Адроны** – протон, нейтрон, **кварки**, гипероны ...  
участвуют в сильном взаимодействии

**Переносчики взаимодействий** –

- a. **фотоны** — электро-магнитное взаимодействие
- b. **векторные бозоны** — слабое взаимодействие
- c. **глюоны** — сильное взаимодействие
- d. **гипероны** — гравитационное взаимодействие  
(не обнаружены)

# Античастицы

*Пример:* **электрон** – **позитрон**

- Одинаковые массы, время жизни, спин; противоположные значения электрического, барионного и других зарядов
- При столкновении с частицами – аннигиляция, т.е. взаимоуничтожение с появлением квантов света
- Есть истинно нейтральные частицы (фотон, некоторые мезоны) они тождественны своим античастицам

# Истинно элементарные частицы

<u>Elementary particles</u>			
u	c	t	$\gamma$
d	s	b	g
$\nu_e$	$\nu_\mu$	$\nu_\tau$	Z
e	$\mu$	$\tau$	W

Key:

- Quarks
- Leptons
- Force Carriers

*u - up quark*  
*c - charm quark*  
*t - top quark*  
 *$\gamma$  - photon*  
 *$\nu_e$  - electron neutrino*  
 *$\nu_\mu$  - muon neutrino*  
 *$\nu_\tau$  - tau neutrino*  
*z - z boson*  
*d - down quark*  
*s - strange quark*  
*b - bottom quark*  
*g - gluon*  
*e - electron*  
 *$\mu$  - muon*  
 *$\tau$  - tau lepton*  
*w - w boson*

+ их античастицы

# Вопросы по теме

## Элементарные частицы

1. Почему прогресс в физике элементарных частиц и в космологии связан с созданием гигантских ускорителей?
2. Почему к элементарным частицам неприменимы обычные представления о части и целом, о простом и сложном?
3. Какие фундаментальные взаимодействия объясняют поведение элементарных частиц?
4. Что такое кварки и почему их невозможно экспериментально обнаружить?
5. Что такое теория Великого объединения? и какие основные проблемы связаны с ее экспериментальным обоснованием?