

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)

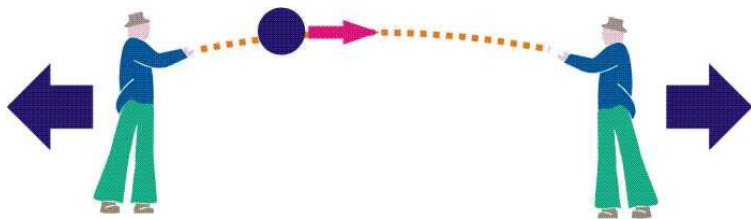
- **Примеры полей? Веществ?**
- **Чем отличается поле от вещества?**
- **Можно ли сказать, что вещество состоит из частиц, а поле - нет?**
- **Поле – «безмассово». Вещество - состоит из частиц, имеющих массу (массу покоя!)**

Понятие поля

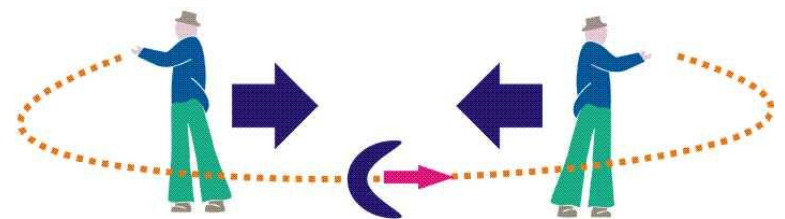
Поле – это некая материальная субстанция, являющаяся переносчиком физических взаимодействий

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

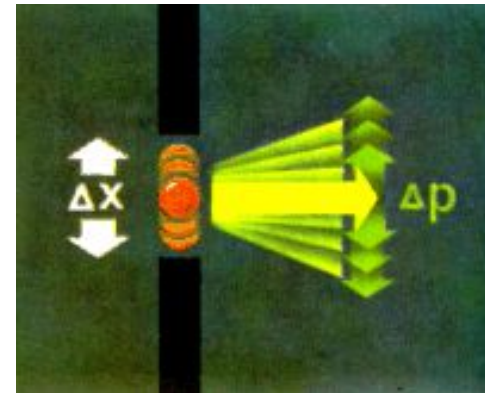
- **Эмпирические законы** — обобщение опытных фактов
Закон Ома, закон Кулона, закон Гука ...
- **Фундаментальный закон** — требуют выхода за рамки наблюдаемого

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

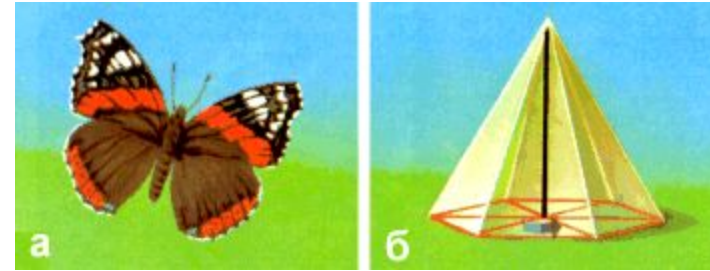
– существует величина, которая остается неизменной во времени и при различных процессах

- **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)

| Симметрия | Закон сохранения |
|---------------------------|-------------------------|
| 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)

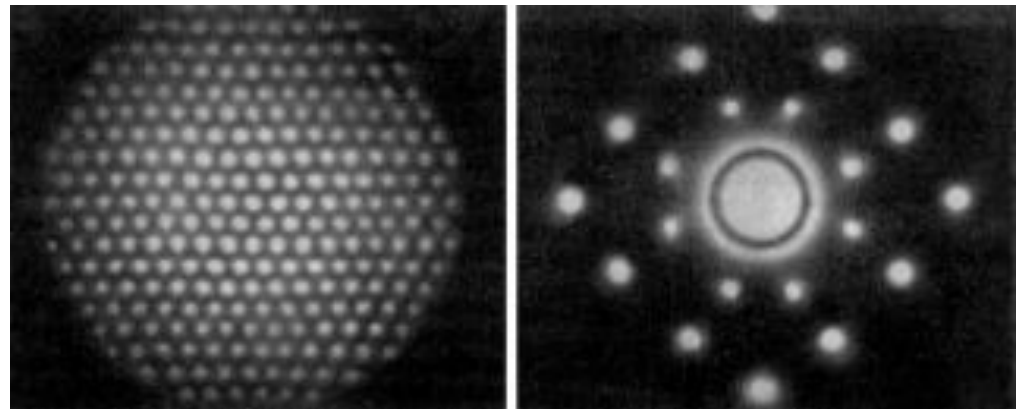
Корпускулярно-волновой дуализм

микрочастицы проявляют свойства частиц

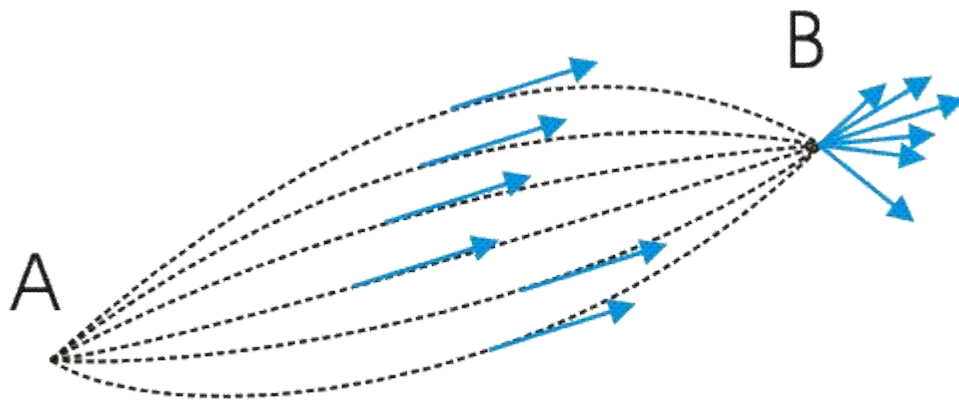
- **фотоэффект** – испускание электронов веществом под воздействием света
- **эффект Комптона** – рассеяние фотонов на электронах

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

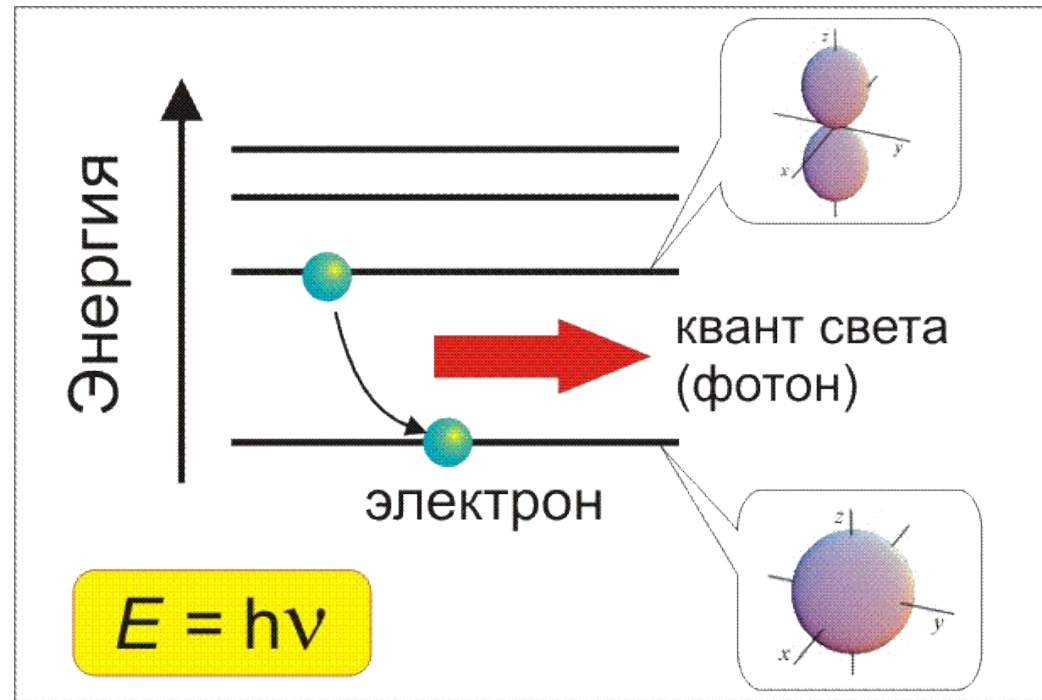
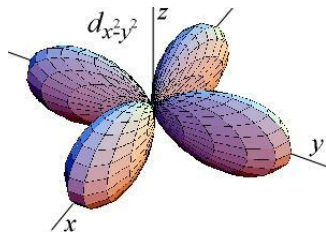
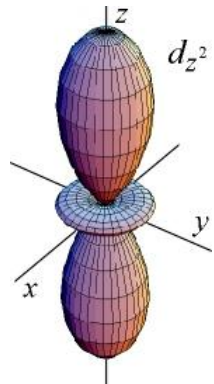
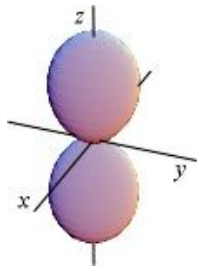
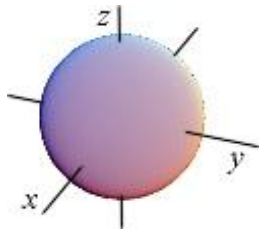
строение атома, спектры, периодическая таблица, природа химической связи, строение твердых тел, магнетизм ...

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 (ν), мюон (μ)...
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 | γ |
| d | s | b | g |
| ν_e | ν_μ | ν_τ | Z |
| e | μ | τ | W |

Key:

- Quarks
- Leptons
- Force Carriers

u - up quark
c - charm quark
t - top quark
 γ - photon
 ν_e - electron neutrino
 ν_μ - muon neutrino
 ν_τ - tau neutrino
Z - z boson
d - down quark
s - strange quark
b - bottom quark
g - gluon
e - electron
 μ - muon
 τ - 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?