

Неклассическое естествознание Основные концепции

Корпускулярно-волновой дуализм

- **Микрочастицы** представляют собой образования особого рода, сочетающие в себе свойства и частицы, и волны.
- **Противоречие с классической физикой:** отличие частицы от волны заключается в том, что она всегда обнаруживается как неделимое целое, в то же время волну можно разделить на части (пример - дифракция электрона).

Принцип неопределенности

- Любая микрочастица не может иметь одновременно точных значений координаты и импульса
- $\Delta p \Delta x \geq h/2$
и энергии и времени
- $\Delta E \Delta t \geq h/2$
- Эти соотношения называются **соотношениями неопределенности**.

Принцип неопределенности Гайзенберга (1927 г.).

- **произведение неопределенностей двух сопряженных переменных не может быть по порядку величины меньше постоянной Планка.**

Принцип неопределенности

- Соотношение неопределенностей является предпосылкой **недетерминистского статистического описания микрообъектов**. Оно отражает вероятностный характер поведения микрочастиц, в результате чего вместо классической траектории для микрочастицы следует использовать распределения вероятности обнаружения частицы в разных точках пространства.
- Соотношение неопределенностей является конкретным выражением более общего положения – **принципа дополнительности Бора**.

Принцип дополнительности Бора

- При экспериментальном исследовании микрообъекта могут быть получены точные данные либо о его **энергиях и импульсах**, либо о поведении в **пространстве и времени**. Эти **две взаимоисключающие картины** – энергетически-импульсная и пространственно-временная, -получаемые при взаимодействии объекта с соответствующими макроскопическими измерительными приборами, **дополняют друг друга**.

Принцип дополнительности Бора

- Всякое истинно глубокое явление природы не может быть однозначно определено с помощью одного понятия, а требует для своего определения по крайней мер двух взаимоисключающих дополнительных понятий.
- На вопрос, какое понятие дополнительно к понятию истинности, Бор ответил: «ясность».

Неклассическая концепция измерения

- В микромере ни один объект не является полностью независимым. Состояние микрообъекта чувствительно к любому неконтролируемому воздействию порядка кванта действия (постоянной Планка). Это выражается в неклассической концепции неконтролируемого и неустранимого случайного воздействия окружения.
- Прибор является макроскопическим окружением для микрообъекта и сам является источником некоторого состояния микрообъекта, которое обнаруживается в измерении.

Неклассическая концепция измерения

- Соотношение неопределенностей ограничивает экспериментально достижимую точность измерения характеристик квантовых объектов. При точном измерении координаты микрочастицы ее импульс благодаря взаимодействию с макроскопическим измерительным прибором претерпевает неконтролируемое изменение.
- Речь идет не о погрешности измерения, а о принципиальном ограничении на информацию о квантовом объекте, выраженную языком классической физики.

Концепция моделирования состояния

- В классическом подходе к описанию природы моделируется сам объект с помощью его установленных характеристик.
- В квантовой механике моделируется не сам объект, а его состояние, которое задается вероятностями тех или иных значений характеристик микрообъекта.
- Недетерминистский статистический подход к описания микрообъектов.

Методологическая роль квантовой механики

- Невозможность ограничиться наглядными образами и простыми механистическими моделями, когда мы выходим за рамки повседневного опыта;
- В природе приоритетную роль играют вероятностные, статистические законы; закономерности динамического типа носят подчиненный характер;
- Мы пытаемся представить цельный, но не представимый из-за своей многомерности микрообъект, изучая его отдельные, но воспринимаемые нами проекции, дополняя одну проекцию другими (принцип дополнительности).

Неклассическая стратегия научного мышления

- Признание случайности фундаментальным свойством природы;
- Отказ от логики «или-или» в пользу логики «и-и» (электрон может обладать и волновыми, и корпускулярными свойствами и находиться одновременно в разных местах);
- Невозможность экранирования исследователя от объекта изучения (электрон обнаруживает волновые или корпускулярные свойства в зависимости от выбранной исследователем аппаратуры для наблюдения);
- Неклассическая рациональность воспринимает объективность с учетом взаимоотношения исследователя и системы, не разрушая представлений об объективности научного знания,

Физика атомного ядра

- Ядро простейшего атома – атома водорода – состоит из одного **протона**. Ядра всех остальных атомов состоят из двух видов частиц – **протонов и нейтронов** – которые называются **нуклонами**.
- **Протон** (p) обладает зарядом **+e** и массой $m = 1.67 \cdot 10^{-27}$ кг, $E_0 = 938,28$ МэВ, $m_p = 938.28$ МэВ/c². Для сравнения масса покоя электрона $m_e = 0.511$ МэВ, следовательно, $m_p = 1836 m_e$.
- **Нейтрон** (n) не обладает зарядом, $m = 1.68 \cdot 10^{-27}$ кг, $E_0 = 939,57$ МэВ.
- У протона и нейтрона спин равен $\frac{1}{2}$.

Физика атомного ядра

- В свободном состоянии нейтрон нестабилен (радиоактивен), он самопроизвольно распадается и превращается в протон, испуская электрон (e^-) и антинейтрино ($\bar{\nu}^*$).
- Период полураспада, т.е. время, за которое распадается половина первоначального количества нейтронов, равен примерно 16 мин.
- Схему распада можно написать следующим образом
$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}^* .$$
- Масса нейтрона превышает суммарную массу частиц в правой части схемы распада на $1.5 m_e$ (масса нейтрино равна нулю), следовательно, энергия 0.78 МэВ выделяется при распаде нейтрона в виде кинетической энергии образующихся частиц.

Характеристики атомного ядра

- **зарядовое число Z** равно количеству протонов, входящих в состав ядра. Z определяет заряд ядра, который равен $+Ze$, а также номер химического элемента в периодической системе Менделеева.
- Число нуклонов (т.е. суммарное число протонов и нейтронов) в ядре обозначается буквой **A** и называется **массовым числом** ядра.
- Для обозначения ядер применяется символ ${}_Z^AX$, где под X подразумевается химический символ данного элемента.
- Ядра с одинаковыми **Z** , но разными **A** называются **изотопами** (водород имеет три изотопа)

Масса и энергия связи ядер

- Масса ядра всегда меньше суммы масс входящих в него частиц. Это обусловлено тем, что при объединении нуклонов в ядро выделяется **энергия связи** нуклонов друг с другом.

- $E_{\text{св}} = c^2 \{ [Zm_p + (A - Z) m_n] - m_{\text{я}} \}.$

- Энергия связи в ядре атома гелия:

$$E_{\text{св}} = (2 \cdot 938.3 + 2 \cdot 939.6) - 3726.0 \approx 28 \text{ МэВ}$$

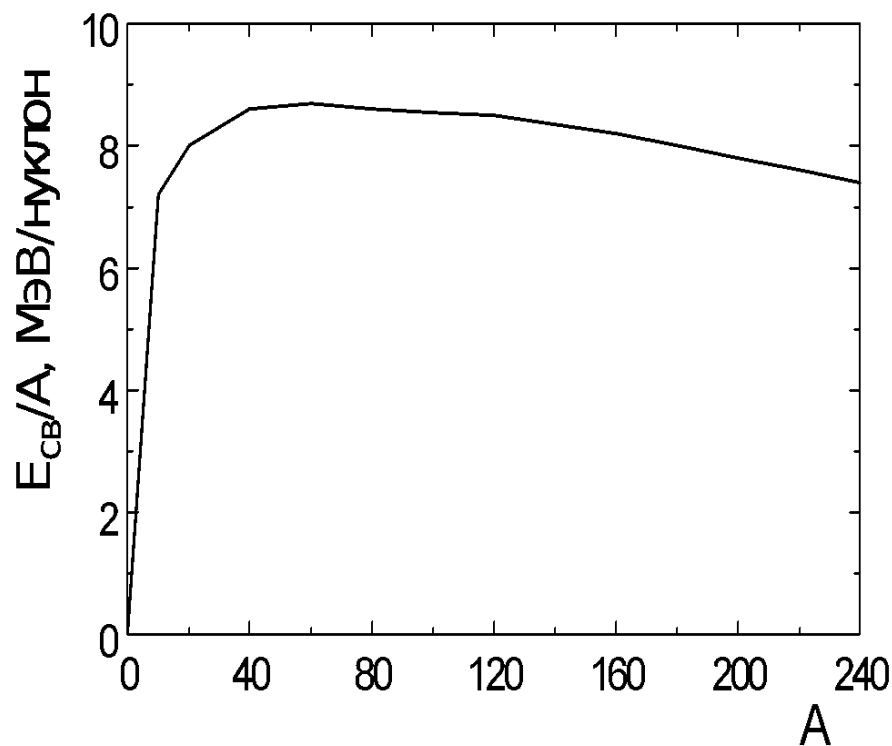
- Энергия связи, приходящаяся на один нуклон $E_{\text{св}} / A$, называется **удельной энергией связи** нуклонов в ядре.
- Ядерные взаимодействия называются **сильными**

Масса и энергия связи ядер

Энергетически выгодными являются два процесса:

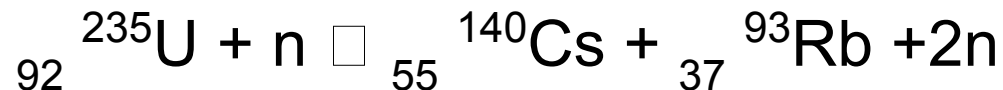
- 1) деление тяжелых ядер на несколько более легких ядер;
- 2) слияние легких ядер в одно ядро.
- Оба процесса должны сопровождаться выделением большого количества энергии.

- Удельная энергия связи в зависимости от числа нуклонов в ядре



Деление тяжелых ядер

- В 1938 г. немецкие физики О.Ган и Ф.Штрассман обнаружили, что при облучении урана нейтронами образуются элементы из середины периодической системы. Один из возможных путей деления

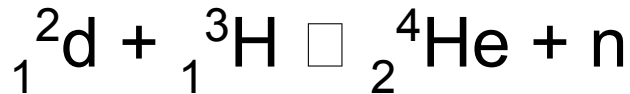


с последующими превращениями осколков деления. Испускание при делении ядер U и Рt нескольких нейтронов делает возможным осуществление *цепной реакции*.

- Процесс *деления ядер* урана или плутония под действием захватываемых ядрами нейтронов** лежит в основе действия ядерных реакторов и атомной бомбы.

Термоядерный синтез

- Для слияния легких ядер они должны подойти друг к другу на весьма близкое расстояние ($\sim 10^{-13}$ м).
- Для преодоления кулоновского отталкивания ядра должны иметь очень большую кинетическую энергию, соответствующую температурам порядка нескольких миллионов Кельвинов.



- Процесс синтеза легких ядер называется **термоядерной реакцией**. Термоядерные реакции протекают в недрах Солнца и других звезд (земных условиях - при взрывах водородных бомб).

Радиоактивные излучения

- **α-лучи** представляют собой поток ядер ${}^4_2\text{He}$.
Примером может служить распад изотопа урана
$${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}.$$
- Существует три разновидности **β-распада**:
испускание электрона (распад нейтрона), позитрона
или захват ядром одного из электронов К-оболочки.
- При β-распаде имеют место **слабые взаимодействия** частиц .
- При исследовании β-распада было обнаружено
нарушение закона сохранения энергии, что и привело
к предположению о существовании новой частицы
(нейтрино) , для которой заряд и масса равны нулю.

Фундаментальные взаимодействия

- **сильное взаимодействие**, обеспечивает связь нуклонов в ядре, имеет радиус действия порядка 10^{-13} м;
- **электромагнитное взаимодействие**, радиус действия не ограничен;
- **слабое взаимодействие**, ответственно за все виды β -распада и некоторые другие распады элементарных частиц, короткодействующее;
- **гравитационное взаимодействие**, универсальное, радиус действия не ограничен.

Элементарные частицы

- **фотон** – квант эл.магн. поля, участвует в электромагнитных взаимодействиях;
- **лептоны** – участвуют в слабых взаимодействиях, заряженные лептоны также участвуют в эл.магн. взаимодействиях. Все лептоны имеют спин, равный $\frac{1}{2}$ и т.н. **лептонный заряд**. (e, μ , τ , ν).
- **адроны** – участвуют в сильных взаимодействиях
 - **мезоны** – нестабильные частицы, спин равен 0; (π^+ , π^- , π^0 , K^+ , K^- , K^0 , K^{0*} , η).
 - **барионы** делятся на **нуклоны** (p, n) и **гипероны** (Λ , Σ^- , Σ^0 , Σ^+ , Ξ^0 , Ξ^- , Ω^-). Спин равен $\frac{1}{2}$. Кроме протона, все барионы нестабильны, обладают специфическим свойством, называемым **барионным зарядом**, который подчиняется закону сохранения.

Частицы и античастицы

- П.Дирак записал **релятивистское квантовомеханическое уравнение**.
- Из уравнения Дирака следует, что полная энергия свободного электрона может принимать не только положительные, но и отрицательные значения
 $E = \sqrt{p^2c^2 + m^2c^4}$.
- Между положительным значением (mc^2) и отрицательным ($-mc^2$) лежит область энергий, которая не может реализоваться.
- В классической механике область возможных отрицательных энергий отбрасывается как недостижимая.

Частицы и античастицы

- В квантовой механике энергия частицы может изменяться не только непрерывно, но и скачком, поэтому существование запрещенной зоны не может воспрепятствовать частице перейти в состояние с отрицательной энергией (и следовательно, с отрицательной массой).
- Согласно Дираку, **вакуум** – это такое состояние, в котором все имеющиеся уровни с отрицательной энергией уже заняты электронами, а уровни с положительными энергиями свободны.

Частицы и античастицы

- Если одному из электронов сообщить энергию $E \geq 2m_e c^2$, то электрон перейдет в «обычное» состояние с положительной энергией, а образовавшаяся вакансия должна вести себя как электрон с положительным зарядом (отсутствие частицы с отрицательным зарядом и отрицательной массой может восприниматься как частица с положительным зарядом и положительной массой).
- Первая из предсказанных теоретически частиц - ***позитрон.***

Частицы и античастицы

- Позитрон был обнаружен в 1932 г. Андерсоном в составе космических лучей.
- При встрече электрона с позитроном происходит **аннигиляция**: частицы превращаются в два (или три) γ -кванта
$$e^+ + e^- \rightarrow \gamma + \gamma$$
- Рождение электрон-позитронной пары возможно, если энергия γ -кванта превышает $2m_e c^2 = 1.02$ МэВ. Для выполнения законов сохранения импульса в процессе рождения пары должна присутствовать еще одна частица (ядро), которая воспринимает избыток импульса

$$\gamma + X \rightarrow X + e^+ + e^-$$

Вакуум

- Решение уравнения Шредингера приводит к **квантованию энергии**, при этом минимально возможная энергия не равна нулю. Квантовый объект с минимальной энергией находится в состоянии **нулевых колебаний**. Нулевые колебания являются фундаментальным свойством всех квантовых систем вплоть до **физического вакуума**.
- В квантовой теории поля **вакуум** представляется не пустотой, а нулевым состоянием квантовых полей.
- Флуктуации вакуума проявляются как непрерывный процесс рождения и исчезновения **виртуальных частиц**.
- Под действие достаточно сильных полей виртуальные частицы могут превращаться в реальные.

Кварки

- В 1964 Гелл-Манн выдвинул гипотезу, согласно которой все элементарные частицы построены из трех частиц, называемых **кварками**. Этим частицам приписываются дробные квантовые числа, дробный электрический заряд и цвет (желтый, синий, красный)
U (up) $q=+2/3$ $B=1/3$ $S=0$
D (down) $q=-1/3$ $B=1/3$ $S=0$
S (strange) $q=-1/3$ $B=1/3$ $S=1$
- Мезоны образуются из пары кварк-антикварк, а барионы – из трех кварков ($p = uud$, $n = udd$)
- **Глюоны** – частицы, являющиеся переносчиками взаимодействия между кварками.
- На данный момент можно считать элементарными лептоны, кварки, а также частицы, обеспечивающие четыре фундаментальных взаимодействия (гравитон, фотон, W и Z бозоны, глюоны).

Попытки Великого объединения

- Эйнштейн пытался единым образом описать гравитационное и эл.магн. взаимодействие;
- В конце 70 г. XX века Вайнберг и Салам создали теория электрослабых взаимодействий;
- Предполагается, что цепочка материальных структур (атом, ядро, адрон, кварк...) базируется на объектах принципиально иной природы – протяженных образованиях размером $\sim 10^{-33}$ см, т.н. **суперструнах**.
- М- теория (mystery) имеет перспективы свести четыре фундаментальных взаимодействия к одному – т.н. **Суперсиле**. М- теория оперирует в 12-мерном пространством.