**Тема 6. *Фундаментальные взаимодействия***

***и элементарные частицы (2 часа)***

ЦЕЛЬ: изучение свойств фундаментальных взаимодействий, раскрыть значение мира субатомных частиц

ЗАДАЧИ:

* освоение знаний видах физических взаимодействий;
* освоение знаний о свойствах физических взаимодействий;
* освоение знаний об элементарных частицах;
* формирование знаний о характеристиках элементарных частиц:
* формирование знаний о процессах, в которых участвуют элементарные частицы и их значении:
* раскрыть методы научного познания природы и формирование на этой основе представлений о физической картине мира

ПЛАН ЛЕКЦИИ:

1. Понятие фундаментальных физических взаимодействий.
2. Типы фундаментальных физических взаимодействий.
3. Мир элементарных частиц.
4. Классификация элементарных частиц.
5. Характеристики субатомных частиц.
6. ***Понятие фундаментальных физических взаимодействий***

На тела действует множество сил: сила ветра или потока воды; давление воздуха; мощный выброс взрывающихся химических веществ; мускульная сила человека; вес предметов; давление квантов света; притяжение и отталкивание электрических зарядов; сейсмические волны; вулканические извержения. Одни силы действуют непосредственно при контакте с телом, другие (гравитация) действуют на расстоянии, через пространство. Но все действующие в природе силы можно свести к четырем фундаментальным взаимодействия.

В порядке возрастания интенсивности это: гравитационное взаимодействие; слабое взаимодействие; электромагнитное взаимодействие; сильное взаимодействие. Они отвечают за все изменения в природе, являются источником всех преобразований материальных тел, процессов. Каждое из четырех фундаментальных взаимодействий имеет сходство с тремя остальными и в то же время свои отличия.

В середине XIX в. с созданием теории электромагнитного поля выяснилось, что передача взаимодействия осуществляется не мгновенно (принцип дальнодействия), а с конечной скоростью посредством некоторого посредника - непрерывно распределенного в пространстве поля (принцип близкодействия). Скорость распространения электромагнитного поля равна скорости света.

В 1 четверти XX в., в свете квантово-волнового дуализма стало ясным, что любое поле является не непрерывным, а имеет дискретную структуру, ему должны соответствовать определенные частицы - кванты. При обмене фотонами появляется электромагнитное поле. Фотоны также являются переносчиками электромагнитного взаимодействия.

Другие виды фундаментальных взаимодействий также имеют свои поля и соответствующие частицы, переносящие это полевое взаимодействие.

1. ***Типы фундаментальных физических взаимодействий***

**Гравитация.** Гравитация обладает рядом особенностей, резко отличающих ее от других фундаментальных взаимодействий. Наиболее удивительной особенностью гравитации является ее малая интенсивность. Гравитационное взаимодействие в 1039 раз меньше силы взаимодействия электрических зарядов и при описании взаимодействий элементарных частиц оно обычно не учитывается. В микромире гравитация ничтожна.

Второй удивительной чертой является универсальность. Ничто во Вселенной не может избежать гравитации. Каждая частица испытывает на себе действие гравитации и сама является источником гравитации, вызывая гравитационное притяжение. Гравитация возрастает по мере образования все больших скоплений вещества. И хотя притяжение одного атома мало, но результирующая сила притяжения со стороны всех атомов может быть значительной.

Третья черта — дальнодействующая сила природы. Хотя интенсивность гравитационного взаимодействия убывает с расстоянием, оно распространяется в пространстве и может сказываться на весьма удаленных от источника телах. Благодаря дальнодействию гравитация не позволяет Вселенной развалиться на части: она удерживает планеты на орбитах, звезды в галактиках, галактики в скоплениях, скопления в Метагалактике.

Сила гравитации, действующая между частицами, всегда представляет собой силу притяжения: она стремится сблизить частицы. Гравитационное отталкивание еще никогда не наблюдалось.

Квантовые свойства гравитации проявляют себя и очень сильных гравитационных полях, где происходят квантовые процессы рождения частиц (точка сингулярности, начальные моменты возникновения Вселенной, гравитационный коллапс, черные дыры).

**Электромагнетизм.** По величине электрические силы намного превосходят гравитационные, поэтому их можно легко наблюдать. Электромагнетизм известен людям с незапамятных времен (полярные сияния, вспышки молнии и др.). Но долгое время электрические и магнитные явления изучались независимо друг от друга. И только в середине XIX в. Дж. К. Максвелл объединил учения об электричестве и магнетизме в единой теории электромагнитного поля. А в 1890-е г.г. было установлено существование электрона (единицы электрического заряда). Но не все элементарные частицы являются носителями электрического заряда. Электрически нейтральны, например, фотон и нейтрино. Этим электричество отличается от гравитации. Все материальные частицы создают гравитационное поле, тогда как, с электромагнитным полем связаны только заряженные частицы.

Как и электрические заряды, одноименные магнитные полюсы отталкиваются, а разноименные - притягиваются. Но в отличие от электрических зарядов магнитные полюсы встречаются не по отдельности, а только парами - северный полюс и южный. Некоторые современные теории допускают возможность существования магнитного монополя.

Электромагнитное поле неподвижных или равномерно движущихся заряженных частиц неотрывно от этих частиц. Но при ускоренном движении частиц электромагнитное поле «отрывается» от них и участвует в независимой форме электромагнитных волн. При этом радиоволны, инфракрасное излучение, видимый свет, ультрафиолетовое излучение, рентгеновское излучение и гамма-излучение представляют собой электромагнитные волны различной частоты.

Электромагнитное взаимодействие (как и гравитация) является дальнодействующим, оно ощутимо на больших расстояниях от источника. Как и гравитация, оно подчиняется закону обратных квадратов. Электромагнитное взаимодействие проявляется на всех уровнях материи — в мегамире, макромире и микромире.

Электромагнитное поле Земли простирается далеко в космическое пространство, мощное поле Солнца заполняет всю Солнечную систему; существуют и галактические электромагнитные поля. В то же время электромагнитное взаимодействие определяет структуру атомов и молекул (положительно заряженное ядро и отрицательно заряженные электроны). Оно отвечает за подавляющее большинство физических и химических явлений и процессов (за исключением ядерных): силы упругости, трения, поверхностного натяжения, им определяются свойства агрегатных состояний вещества, химических превращений, оптические явления, явления ионизации, многие реакции в мире элементарных частиц и др.

**Слабое взаимодействие.** Оно ответственно за распады частиц, поэтому с его проявлением столкнулись при открытии радиоактивности и исследовании β-распада.

У β-распада обнаружилась, что часть энергии куда-то исчезает. Чтобы «спасти» закон сохранения энергии, В. Паули предположил, что при β-распаде вместе с электроном вылетает, унося с собой недостающую энергию, еще одна частица. Она — нейтральная и обладает необычайно высокой проникающей способностью, вследствие чего ее не удавалось наблюдать. Э. Ферми назвал частицу-невидимку «нейтрино».

Входящие в состав ядра нейтроны, предоставленные самим себе, через несколько минут распадаются на протон, электрон и нейтрино.

Слабое взаимодействие по величине значительно меньше всех взаимодействий, кроме гравитационного. Там, где оно присутствует, его эффекты оказываются в тени электромагнитного и сильного взаимодействий. Слабое взаимодействие распространяется на очень незначительные расстояния. Радиус слабого взаимодействия очень мал (10-16 см), потому оно не может влиять не только на макроскопические, но даже на атомные объекты и ограничивается субатомными частицами. По сравнению с электромагнитным и сильным взаимодействиями оно протекает чрезвычайно медленно.

Слабое взаимодействие играет в природе очень важную роль - является составной частью термоядерных реакций на Солнце, звездах, обеспечивая синтез пульсаров, взрывов сверхновых звезд, синтез химических элементов в звездах и др.

**Сильное взаимодействие.** Является источником огромной энергии (на Солнце). В недрах Солнца и звезд непрерывно протекают термоядерные реакции, вызываемые сильным взаимодействием (при существенном участии и слабого взаимодействия). Но и человек научился вызывать сильное взаимодействие: создана водородная бомба, сконструированы и совершенствуются технологии управляемой термоядерной реакции.

По своей величине сильное взаимодействие существенно превосходит все остальные фундаментальные взаимодействия, за пределами ядра оно не ощущается. Сильное взаимодействие проявляется на расстоянии, определяемом размерами ядра, т.е. примерно 10-13 см.

Главная функция сильного взаимодействия в природе — создание прочной связи между нуклонами (протонами и нейронами) в ядрах атомов. При этом столкновение ядер или нуклонов, обладающих высокими энергиями, приводит к разнообразным ядерным реакциям, в том числе реакции термоядерного синтеза на Солнце, которая является основным источником энергии на Земле.

Сильное взаимодействие испытывают протоны и нейтроны, но электроны, нейтрино и фотоны не подвластны ему. В сильном взаимодействии участвуют обычно только тяжелые частицы.

Среди физиков зреет убеждение, что начинают вырисовываться контуры единой теории сильного, слабого и электромагнитного взаимодействий - Великого объединения. А там не за горами и единая теория всех фундаментальных взаимодействий — Супергравитация.

*Но я в твоем «ничто» надеюсь, кстати,*

*Достать и все посредством тех же чар.*

*А. Гёте «Фауст»*

1. ***Мир элементарных частиц***

Весь наш мир мы условно делим на три уровня – мегамир, макромир и микромир. Мегамир – это космические системы и неограниченные масштабы. Макромир – это макроскопические тела размером от 10-6 до 107 см. Микромир сам делится на два подуровня: атомно-молекулярный (10-8-10-7 см) и квантовый (область, порядка 10-15 см). Это деление мира на уровни весьма условно, и все же процессы микромира нельзя рассматривать так же, как макропроцессы в неком уменьшенном масштабе, поскольку явления микромира подчиняются другим закономерностям и изменяются на основе иных принципов. Еще с древнейших времен человек пытался познать первооснову мира, то, из чего состоит все. Ранее такой основой считались атомы. Затем выяснилось, что атомы и даже атомные ядра делимы. Элементарными (субъядерными) частицами называют такие частицы, которые не удается расщепить на составные части. Они подразделяются на стабильные и нестабильные. Всем элементарным частицам присущи такие основные черты:

1. частицы, пока существуют, неизменны.

2. частицы одного сорта абсолютно одинаковы, неразличимы;

3. частицы могут рождаться и исчезать.

Изучение элементарных частиц показало, что они рождаются и уничтожаются при взаимодействии с другими элементарными частицами. Кроме того, они могут спонтанно распадаться. Все эти преобразования частиц (распад, рождение, уничтожение) реализуются через последовательные акты поглощения и испускания частиц.

Свойства частиц многообразны. Каждой частице соответствует своя античастица, отличающаяся от нее лишь знаком заряда. Для частиц с нулевыми значениями всех зарядов античастица совпадает с частицей (например, фотон). Каждая элементарная частица характеризуется собственным набором значений определенных физических величин - масса, электрический заряд, спин, время жизни частицы, магнитный момент, пространственная четность, лептонный заряд, барионный заряд и др.

Общие характеристики всех частиц: масса, время жизни, спин. Когда говорят о массе частицы, имеют в виду ее массу покоя, поскольку она не зависит от состояния движения. Частица, имеющая нулевую массу покоя, движется со скоростью света (фотон). Нет двух частиц с одинаковыми массами. Электрон - самая легкая частица с ненулевой массой покоя. Протон и нейтрон тяжелее электрона почти в 2000 раз. А самая тяжелая из полученных в ускорителях элементарных частиц (Z-бозон) обладает массой, в 200 000 раз большей массы электрона.

Спин - собственный момент импульса частицы. Протон, нейтрон и электрон имеют спин 1/2, а спин фотона равен 1. Известны частицы со спином 0, 3/2,2. Частица со спином 0 при любом угле поворота выглядит одинаково. Частица со спином 1 принимает тот же вид после полного оборота на 360°. Частица со спином 1/2 приобретает прежний вид после оборота на 720° и т.д. Частица со спином 2 (гипотетический гравитон) принимает прежнее положение через пол-оборота (1809). В зависимости от спина все частицы делятся на две группы:

бозоны — частицы с целыми спинами 0, 1 и 2;

фермионы — частицы с полуцелыми спинами (1/2, 3/2). (Частицы со спином более 2, возможно, вообще не существуют).

Частицы характеризуются и временем жизни. Стабильные частицы — это электрон, протон, фотон и нейтрино (до конца пока не решен вопрос о стабильности протона, возможно, он распадается за 1030 лет). Нейтрон стабилен, когда находится в ядре атома, но свободный нейтрон распадается примерно за 15 мин. Все остальные известные частицы нестабильны; время их жизни колеблется от нескольких микросекунд до 10-24 с. Самые нестабильные частицы резонансы. Время их жизни 10-22—10~24 с.

***4,5. Классификация и характеристики***

***элементарных частиц***

Все свойства частицы определяются ее способностью (или неспособностью) участвовать в сильном взаимодействии. Частицы, участвующие в сильном взаимодействии, образуют особый класс и называются адронами. Частицы, участвующие преимущественно в слабом взаимодействии и не участвующие в сильном, называются пептонами. Кроме того, существуют частицы — переносчики взаимодействий.

**Лептоны (12).** Ведут себя как точечные объекты, не обнаруживая внутренней структуры даже при сверхвысоких энергиях. Они являются элементарными объектами, т.е. они не состоят из каких-то других частиц. Могут иметь электрический заряд, а могут и не иметь, спин у всех у них равен 1/2.

Среди лептонов наиболее известен электрон. Электрон — это первая из открытых элементарных частиц. Электрон - носитель наименьшей массы и наименьшего электрического заряда (не считая кварков) в природе.

Другой хорошо известный лептон – нейтрино, являются наиболее распространенными частицами во Вселенной, но изучать их очень сложно. Нейтрино почти неуловимы; обладают огромной проникающей способностью (особенно при низких энергиях); не участвуют ни в сильном, ни в электромагнитном взаимодействиях; проникают через вещество.

Вопрос о массе еще не решен.

Широко распространены в природе мюоны, на долю которых приходится значительная часть космического излучения. Мюон — одна из первых известных нестабильных субатомных частиц, открытая в 1936 г. Напоминает электрон: имеет тот же заряд и спин, участвует в тех же взаимодействиях, но имеет большую массу и нестабилен. Примерно за две миллионные доли секунды мюон распадается на электрон и два нейтрино. Проникая в вещество, мюоны взаимодействуют с ядрами и электронами атомов и образуют необычные соединения. Положительный мюон, присоединяя к себе электрон, образует систему, аналогичную атому водорода - мюоний, химические свойства которого во многом подобны свойствам водорода. А отрицательный мюон может замещать на электронной оболочке один из электронов, образуя так называемый мезоатом. В мезоатоме мюоны расположены в сотни раз ближе к ядру, чем электроны. Это позволяет использовать мезоатом для изучения формы и размеров ядра.

В конце 1970-х гг. был обнаружен τ-лептон - очень тяжелая частица. Ее масса около 3500 масс электрона, но во всем остальном он ведет себя подобно электрону и мюону.

**Адроны** (сотни). Большинство из них - резонансы, т.е. крайне нестабильные частицы, построены из более мелких частиц.

Все адроны встречаются в двух разновидностях — электрически заряженные и нейтральные. Известны и широко распространены нейтрон и протон. Остальные адроны быстро распадаются.

Адроны подразделяются на два класса. Это — класс барионов (тяжелые частицы) (протон, нейтрон, гипероны и барионные резонансы) и семейство более легких мезонов (мюоны, бозонные резонансы и др.).

На сегодняшний день кварки и антикварки считаются неделимыми, их по 6 типов, которые называются «ароматами» (flowers): u (up), d (down), с (charm), s (strangeness), t (top) и b (bottom). Самое необычное свойство кварков заключается в том, что они существуют только внутри адронов и не наблюдаются как самостоятельно существующие частицы.

**Частицы - переносчики взаимодействий.** Они не являются строительным материалом материи, а непосредственно обеспечивают фундаментальные взаимодействия, т.е. не позволяют материи распадаться на части.

Переносчиком электромагнитного взаимодействия выступает фотон.

Глюоны (их всего восемь) - переносчики сильного взаимодействия между кварками, которые, благодаря глюонам, связываются парами или тройками

Переносчиками слабого взаимодействия являются три частицы— W+-, W--, Z0- бозоны (открыты в 1983 г). Радиус слабого взаимодействия чрезвычайно мал, поэтому его переносчиками должны быть частицы с большими массами покоя. В соответствии с принципом неопределенности время жизни частиц с такой большой массой покоя должно быть чрезвычайно коротким — всего лишь около 1026 с.

Возможно существование и переносчика гравитационного поля — гравитона. Они движутся со скоростью света; т.е. это частицы с нулевой массой покоя. Но в то время как фотон имеет спин 1, спин гравитона равен 2.

При электромагнитном взаимодействии одноименно заряженные частицы (электроны) отталкиваются, а при гравитационном — все частицы притягиваются друг к другу.

Каждая группа этих переносчиков взаимодействий характеризуется своими специфическими законами сохранения. А каждый закон сохранения может быть представлен как проявление определенной внутренней симметрии уравнений поля (движения). Это обстоятельство используется для построения единой теории фундаментальных взаимодействий.

Каждый вид частиц играет свою роль в формировании структуры материи, Вселенной.