

Естественнонаучная картина мира

Лекция №5

Тема №3. Уровни организации материи в природе

Тема №4. Динамические и статистические закономерности в природе

Микромир. Молекулярное, атомное и внутриатомное строение материи

Особую роль в изучении физика атомов играет теория ядерных реакций. Первоначально атомы считались совершенно не изменяемыми. Это считалось главным предназначением понятия атом — частица из которой состоит все, а она не содержит внутренней структуры. Изучение химии заставило принять концепцию молекул и не делимая часть — атом стало уже частью молекулы. В отличие от алхимии химия выделила таблицу основных химических элементов, которые не преобразуются друг в друга и не меняются при химических реакциях. Однако в физике все оказалось сложнее. Открытие электрона и ионизации, показало что атом может быть в различных ионизированных состояниях и может терять электроны как часть себя. Затем была открыта супругами Кюри радиоактивность.

Радиоактивность — свойство ядер самопроизвольно менять свой состав путем испускания частиц. Основными видами радиоактивного распада являются альфа-распад (испускание ядром альфа-частицы), бета-распад (испускание ядром бета-частицы), спонтанное деление ядер и гамма-излучение возбужденных ядер. **Альфа-частица** — это ядро атома гелия. **Бета-частица** — это электрон, возникший при распаде одного нейтрона внутри ядра. **Гамма-квант** — это квант жесткого электромагнитного излучения.

В результате ядра атомов могут делиться или испускать частицы и превращаться в ядра атомов других элементов. Эти реакции были названы ядерными реакциями деления. Следующим шагом были обнаружены реакции поглощения ядром атома частицы или другого ядра с образованием ядра нового элемента. Эти реакции были названы ядерными реакциями синтеза. Среди реакций синтеза особую роль стали играть термоядерные реакции, которые происходят при сжатии и сильном нагревании вещества. Эти реакции наиболее точно соответствуют условиям ядерных реакций внутри звезд. Таким образом, современная физика считает термоядерные реакции главным механизмом создания обычного вещества во вселенной и одним из

важнейших механизмов ее эволюции.

Ядерные реакции в чем то подобны химическим и расширяют круг реакций превращения веществ в природе. Для применения химии в практике особую роль играли само поддерживающиеся реакции горения и взрыва, реакции с катализатором, циклические реакции. Они дают энергию, определяют работу двигателей, работу наиболее важных химических производств. Аналогично и для ядерных реакций. В конце 30-х годов 20 века физики обнаружили явление само поддерживающейся циклической реакции распада ядер урана и плутония. Катализаторами и регуляторами таких реакций стали некоторые вещества, замедляющие или поглощающие нейтроны (графит, тяжелая вода и т. д.) На основе таких систем были созданы ядерные реакторы и ядерные взрывные устройства. Ядерные реакторы деления стали основой ядерной энергетики и ядерного транспорта, а ядерные взрывные устройства основой наиболее мощного оружия. Более сложной стала реализация ядерных реакций синтеза. Не управляемый ядерный синтез (термоядерная бомба) был реализован с помощью ядерного взрывного устройства на основе реакции распада. Ядерный взрыв сжимает и разогревает атомы водорода и реализует локально термоядерную реакцию взрыва водородной бомбы. Управляемую реакцию термоядерного синтеза пока реализовали только локально, для ограниченного промежутка времени, который не дает пока реализовать энергоустановку на основе термоядерной реакции. Существуют несколько вариантов реализации управляемого термоядерного синтеза — токомак (сжатие и разогрев водородной плазмы в сильном магнитном поле), лазерный (сжатие и разогрев водородной плазмы в сильном пучке лазерного излучения), холодный ядерный синтез (особые варианты реакции при сравнительно низких температурах). Главная идея термоядерной реакции — сжать и нагреть водородную плазму до состояния когда атомы водорода будут очень часто сталкиваться между собой с достаточно большой энергией столкновений. При реакции синтеза выделяются фотоны и частицы, которые дополнительно разогревают плазму. Главное — удержать эту плазму, не дать ей расшириться или взорваться.

Элементарные частицы

Эволюция картины микромира проходила определенные этапы:

- атомистическая модель Левкипа — Демокрита о том, что весь мир состоит из атомов;

- идея молекулярного состава химических веществ;
- модели атомов Резерфорда и Бора, показали наличие электронов и ядра атомов;
- открытие протонов, нейтронов, квантовая модель фотонов, позволила на современном уровне уже говорить, что микромир состоит из взаимодействующих элементарных квантовых частиц.

При этом необходимо было выяснить какие частицы существуют, какими свойствами обладают и какие силы и законы на них действуют. Первоначально было известно только 2 вида взаимодействия материи — гравитационное (определяется свойством массы) и электромагнитное (определяется свойством электрического заряда + или - и магнитным моментом — аналогом магнитного поля замкнутого контура с током). Таким образом, частицы обладали свойствами массы, заряда и магнитного момента. По массе частицы разделились на частицы с массой покоя (электрон, протон, нейтрон) и без массы покоя (фотоны). Фотоны были по теории близкого действия переносчиками электромагнитного взаимодействия-поля. По аналогии предположили о существовании гравитонов — переносчиков гравитационного поля. Но пока их не смогли обнаружить экспериментально. По заряду частицы разделились на отрицательно заряженные (пример — электроны), положительно заряженные (пример — протоны) и частицы без заряда (пример — нейтроны). Причем измерения заряда показали, что заряд электрона и заряд протона по модулю равны, что дало основание считать заряд электрона «кирпичиком» или минимальной единицей заряда.

Дальнейшее изучение спектров излучения атомов, дало основание ввести еще 1 свойство квантовых частиц — спин. Для него ввели аналогию — момент вращения, то есть частица как бы вращается вокруг своей оси. Конечно для квантовых частиц это не совсем верно, но пока другой аналогии не выявлено. Таким образом, наделение частиц внутри атома (электроны, протоны нейтроны) свойствами заряда, магнитного момента и спина и введения принципа квантования их величин позволило объяснить практически все особенности спектров излучения атомов. В настоящее время такая квантовая модель атома, описываемая уравнениями Шредингера для волновой функции, считается базовой.

Особой проблемой для модели атома стало объяснение стабильность его ядра. Ведь отталкивание положительно заряженных

протонов должно было его разрушить. Значит между протонами есть еще одно взаимодействие более сильное чем электромагнитное. Кроме того, оно действует и на не заряженные нейтроны. Такое взаимодействие назвали сильным нуклонным взаимодействием, а для протонов и нейтронов появилось общее название — нуклонное. У сильного взаимодействия должен быть свой переносчик. И такая частица была обнаружена — мезон, однако он оказался не очень стабильным, что объясняет быстрое уменьшение мощности сильного взаимодействия с увеличением расстояния (гораздо быстрее $1/R^2$). Поэтому вылетев из ядра достаточно далеко протон уже назад не «падает».

Физика элементарных частиц начала активно развиваться с появлением средств регистрации таких частиц (счетчик Гейгера и т. д.) и ускорителей. Ускоритель — прибор, который ускоряет заряженные частицы электромагнитным полем. Ускорители бывают линейными или циклическими (круговыми). Движение частицы по кругу дает возможность ее сильнее разогнать, ближе к скорости света. В результате она получает значительную энергию. Многие физические процессы при высоких энергиях проявляются особо, что дало возможность выделить в отдельный раздел Физику Высоких Энергий. Далее частица сталкивается с мишенью, т. е. с другой частицей почти неподвижной. Это приводит к выделению всей накопленной энергии и проявлению различных последствий. Особенно высокая энергия получается, если сталкиваются 2 потока движущихся навстречу друг другу пучков частиц. Постепенно ускорители становились все больше по размерам (диаметром в несколько километров), что давало все большую энергию. При этом рождались все новые и новые частицы. Так были найдены гипероны. Название «гипероны» происходит от греческого «гипер» — выше, так как они тяжелее протона, но так же подвержены сильному взаимодействию. Нуклоны и гипероны объединили в класс барионов — от греческого «барис» тяжелый. Барионы (нуклоны, гипероны, барионные резонансы — короткоживущие частицы) при любых реакциях могут превращаться в протоны или из них получаться. Далее были найдены сильно взаимодействующие мезоны и образовался класс адронов=мезоны+барионы (поэтому суперколлайдер называется адронным). Таким образом, сильное взаимодействие влияет на поведение адронов. Особую роль в исследовании квантовых частиц сыграло открытие нейтрино. При

изучении некоторых реакций было обнаружено нарушение закона сохранения энергии, Паули предположил (1930 г.) что энергия выделяется вместе с небольшой незаряженной частицей (уменьшенной копией нейтрона — нейтрино). Однако обнаружить в эксперименте эту частицу оказалось очень трудно, она легко пролетает даже через Землю (50-е года). Еще труднее было определить ее массу, она оказалась столь малой, что некоторые ученые предлагали считать ее безмассовым фотоном переносчиком особого вида взаимодействия. И только в конце 20-начале 21 века наличие массы покоя нейтрино было определено. При этом было определено как минимум 3 разных типа нейтрино, а антинейтрино так пока и не обнаружено.

Более легкие частицы тоже взаимодействуют, но переносчик другой — векторный бозон. Все кванты переносчиков стали называть общим словом — бозоны. Такое взаимодействие было названо слабым, а частицы ему подчиняющиеся называют лептонами. К лептонам относятся электроны, мюоны и нейтрино. В настоящее время в основе классификации элементарных частиц лежит их деление на классы сильно взаимодействующих (адроны) и слабо взаимодействующих (лептоны) частиц. Классифицированы так же 4 основных вида взаимодействия — гравитационное, электромагнитное, сильное и слабое. Им соответствует 4 поля и формально 4 кванта-переносчика взаимодействия гравитон, фотон, мезон, векторный бозон.



Еще одной особенностью классов элементарных частиц стало открытие антиматерии. Решая волновое уравнение квантовой электродинамики П. Дирак в 1928 г нашел еще одно симметричное решение для антиэлектрона, который должен иметь ту же массу, но заряд положительный. Такая частица — позитрон была обнаружена в эксперименте. Релятивистской квантовой теорией было установлено, что почти любой элементарной частице соответствует античастица в том смысле, что, имея одинаковые массы, периоды полураспада, а также одинаковые квантовые числа, они различаются знаками всех зарядов: электрического, барионного, лептонного и др. Это следует из общих принципов квантовой теории поля и подтверждается экспериментальными данными. Таким образом, возникла глобальная проблема частица—античастица, разных по знаку заряда частиц. Причем при столкновении частицы и античастицы происходит аннигиляция, т.е. они взаимно уничтожают друг друга, и при этом выделяется энергия в виде квантов электромагнитного излучения (фотонов). При этом протон аннигилирует именно с антипротоном, а не позитроном, так как аннигиляция должна сохранять симметрию свойств-зарядов. Фактически здесь проявляется глубокая симметрия законов физики. Фактически законы сохранения отражают симметричное устройство мира. Например наличие положительного заряда должно быть уравновешено отрицательным зарядом. При этом число барионов или лептонов тоже должно сохраняться (аналог заряда для сильного или слабого взаимодействия). В тоже время существуют отдельные случаи нарушения симметрии, которые заставили ученых усложнять законы сохранения-симметрии. Так например была введена дополнительная особая квантовая характеристика частицы на подобие заряда, которая была так и названа «странность».

Многообразие и сложность системы квантовых частиц заставила ученых выдвигать новые идеи. Так была разработана теория электро-слабого взаимодействия (объединение электромагнитного и слабого) и теория кварков. К настоящему времени все это объединено в рамках Стандартной модели, которая подтверждена недавним открытием бозона Хигса. В этой модели представляют адроны как составные объекты, которые состоят из кварков 6 разных типов. Квантовая характеристика кварка получила название — цвет. Сильное взаимодействие здесь рассматривается как взаимодействие кварков с переносчиком — глюоном. **Теория**

электрослабого взаимодействия представляет собой (создана в конце 60-х годов С. Вайнбергом, Ш. Глэшоу, А. Саламом) единую (объединённую) теорию слабого и электромагнитного взаимодействий кварков и лептонов, осуществляемых посредством обмена четырьмя частицами — безмассовыми фотонами (электромагнитное взаимодействие) и тяжёлыми промежуточными векторными бозонами (слабое взаимодействие). Таким образом кирпичиками стандартной модели должны быть 6 кварков, 6 лептонов, 6 бозонами. Один из бозонов — гравитационный гравитон пока не обнаружен. В целом, кроме гравитации эта модель дает хорошее соответствие с экспериментами.

Структура стандартной модели

масса→	=2.3 МэВ/c ²	=1.275 ГэВ/c ²	=173.07 ГэВ/c ²	0	=126 ГэВ/c ²
заряд→	2/3	2/3	2/3	0	0
спин→	1/2	1/2	1/2	1	0
	u верхний	c очарованный	t истинный	g глюон	H бозон Хиггса
КВАРКИ	=4.8 МэВ/c ²	=95 МэВ/c ²	=4.18 ГэВ/c ²	0	
	-1/3	-1/3	-1/3	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	d нижний	s странный	b прелестный	γ фотон	
	0.511 MeV/c ²	105.7 МэВ/c ²	1.777 ГэВ/c ²	91.2 ГэВ/c ²	
	-1	-1	-1	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	e электрон	μ мюон	τ тау	Z Z бозон	
ЛЕПТОНЫ	<2.2 эВ/c ²	<0.17 МэВ/c ²	<15.5 МэВ/c ²	80.4 ГэВ/c ²	
	0	0	0	±1	
	1/2	1/2	1/2	1	
	ν_e электронное нейтрино	ν_μ мюонное нейтрино	ν_τ тау нейтрино	W W бозон	
					КАЛИБРОВОЧНЫЕ БОЗОНЫ

Тема №4. Динамические и статистические закономерности в природе

Порядок и беспорядок в природе

Случайные процессы и явления. Радиоактивность, квантовый шум и броуновское движение

Долгое время люди считали что все в природе не случайно, имеет свою причину и может быть определено точно. Если они что-то не понимали или не могли установить простую причину, то предполагали наличие некой «внешней воли». Так появились понятия о духах, богах и т. д. Даже за хаотически запутанные процессы отвечал бог Хаос. Такие закономерные процессы были названы

детерминированными (от английского слова определять). До 19 века ученые спорили только о наличии влияния на природу потусторонних сил. В механистической картине Ньютона за богом оставалось только процесс создания мира и установление его законов, дальше все работало «самостоятельно». Появились и атеисты, которые пытались совсем убрать бога из картины мира. Изучение тепловых процессов и термодинамики заставило пересмотреть такой подход. Появилась вероятностная картина мира в которой есть случайные и стохастические (смесь случайного и детерминированного) процессы.

Первоначально интерес к хаотическим процессам возник при изучении броуновского движения частиц. Изучая под микроскопом поведение живых клеток и микрочастиц ученые обнаружили их хаотическое движение, похожее на дрожание. Такое движение было объяснено движением молекул воздуха. В газе молекулы слабо связаны (слабо взаимодействуют), поэтому они могут достаточно свободно двигаться, сталкиваться друг с другом, образуя очень сложное (хаотическое) движение. В теории вероятности доказывается, что сложение большого числа разнообразных и не связанных между собой процессов приводит к формированию случайных процессов. Поэтому характеристики такого «молекулярного» газа практически можно описывать как случайные. С другой стороны случайные процессы тоже имеют вполне детерминированные характеристики — среднее значение, дисперсия, корреляция и т. д. Так возникла статистическая физика, которая стала описывать сложные процессы методами теории вероятностей и статистики. Например давление газа в сосуде, статистическая физика представляет как передачу импульса молекулами газа стенкам сосуда. Чем быстрее движутся молекулы, тем больше импульс и давление. Скорость молекул связана с их кинетической энергией, а эта энергия в среднем и определяет температуру. Так появляется связь температуры и давления. При сжатии газа, место пролета молекул уменьшается, столкновения со стенками учащаются. Так образуется связь давления и объема газа. При сжатии так же необходимо выполнить работу по разгону молекул при сближении стенок, поэтому увеличивается энергия движения молекул и соответственно температура. Так образуется связь температуры и объема газа, а так же можно сформулировать законы сохранения энергии в тепловых процессах. С другой стороны, характеристики такого «молекулярного» газа зависят от количества молекул и их массы. Так появляется обоснование

формулы и закона Менделеева-Клапейрона $P \cdot V = k \cdot R \cdot T$, где P — давление, V — объем, k — число молей (определяется числом молекул вещества), R — универсальная константа, T — температура. Можно рассмотреть в рамках статфизики и начала термодинамики, если рассмотреть функцию хаотичности — энтропию. В статфизике рассматривают взаимосвязь функций энтропии, температуры и т. д. в виде системы уравнений.

Можно применить статфизика и к другим сложным процессам (волновым, эволюционным, квантовым). Для квантовых объектов была разработана специальная статистическая теория — квантовая статистика, которая выделила ряд особых множеств квантовых объектов, которые подчиняются особым статистическим распределениям (Бозе-Эйнштейна, Ферми и т. д.). В тоже время квантовая статистика еще требует доработки так как не всегда правильно описывает экспериментальные результаты. В целом квантовые системы обогатили науку примерами совершенно случайных явлений природы (период полураспада и радиоактивность, время жизни и волновая функция частицы и т. д.).

Упорядоченные структуры в природе

Помимо беспорядочных/хаотичных систем в природе важное значение имеют и упорядоченные структуры. В жидкостях и твердых телах молекулы располагаются гораздо плотнее чем в газе и сильнее взаимодействуют между собой. Это приводит к усложнению процессов, возникают явления смачивания, поверхностного натяжения, текучести, упругости и т. д. При этом вещества могут быть изотропными (все направления равноправными) и анизотропными (есть выделенные направления). Среди анизотропных веществ наиболее важные значения имеют домены и кристаллы. Домены — области тела, которые имеют общие характеристики. Например магнитные домены — замкнутые области, в которых молекулы формируют общий магнитный момент. В результате магнитный домен ведет себя как единая магнитная система, которая взаимодействует с внешним магнитным полем. Именно домены влияют на формирование особых магнитных, электрических и некоторых других свойств веществ. Кристаллы — вещества, которые имеют особую кристаллическую структуру. Атомы кристалла связаны так, что образуют в пространстве решетку (кристаллическую). В такой системе появляются анизотропные явления и само согласование взаимодействия атомов с внешними силами и полями. Кристаллы

обладают аномальными оптическими, электрическими, магнитными, упругими свойствами. Например углерод может быть в виде графита, алмаза, графена, углеродных нанотрубок. Каждый из этих видов обладает особыми физическими свойствами, часто уникальными.

В заключение данной подтемы можно отметить, что процессы упорядочивания и хаотизации в природе постоянно противодействуют. Законы термодинамики требуют, чтобы системы постепенно хаотизировались (термодинамическая смерть вселенной), однако в реальном мире есть сложные процессы эволюции систем, которые не всегда ведут к хаосу (например поведение живых систем). Пока современная наука не может ответить на все возникающие при этом вопросы.

Процессы самоорганизации в природе

Явления самоорганизации в природе были известны очень давно, но особое внимание на них естествознание обратило в 20 веке. Это было связано с несколькими обстоятельствами:

- Наука приступила к изучению очень сложных систем, в которых не все процессы описывались классической теорией статистики.
- Обострилась проблема объединения подходов к изучению живой и не живой природы.
- Стала актуальной задача развития кибернетики — науки об управлении, которая в связи с появлением ЭВМ и автоматов поставила задачи управления сложными системами.
- Использование ЭВМ дало возможность решать сложные математические задачи и моделировать сложные процессы.

Так в середине 20 века появилась наука синергетика — теория самоорганизации. Сторонники синергетики попытались распространить ее законы на любые сложные системы живой материи, не живой материи, законы развития общества и т. д.

Синергетика — наука о законах самоорганизации сложных систем. **Синергетика** призвана решить задачу, как из хаоса возникает порядок. Ведь суть всякой организации состоит в упорядоченности элементов системы. В процессе порождения хаосом упорядоченных организованных систем происходит удаление от состояния термодинамического равновесия, которое характеризуется устойчивым и неизменным во времени состоянием основных параметров системы (что в общем случае противоречит законам термодинамики). В принципе вопрос о том, должны ли все системы в конце концов стремиться к состоянию термодинамического равновесия

(«теромодинамической смерти») остается до конца не выясненным.

В рамках синергетики были выделены циклические (колебательные) процессы. Если процесс развивается не хаотично, то он либо имеет тенденцию к переходу к какому-либо состоянию устойчивого равновесия, либо к циклическим/колебательным процессам. Были обнаружены «аттракторы» — некие устойчивые циклические процессы. Таким образом, система может устойчиво динамически меняться вблизи циклического аттрактора. Здесь возможны варианты движения по сжимающейся спирали — деградация, по раскручивающейся спирали — развитие и наконец по устойчивому циклу без существенных изменений. Все это дало возможность сформулировать идею «универсального эволюционизма». Это идея возможности изучения динамики развития для любых природных систем.

Применяя этот принцип можно изучать и анализировать процессы самоорганизации и развития в природных и социальных системах.