

Лекция №7. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ СОВРЕМЕННОЙ ХИМИИ

Перейдем к рассмотрению некоторых основополагающих представлений о мире атомов и молекул, микромире, веществе и поле. Именно законы микромира определяют существование гигантских звезд, планет, биологических объектов, человека. На определенном этапе развития эволюции Вселенной возникли такие условия, при которых стало возможным образование атома. Затем произошло образование молекулы. Это стало основанием для образования разнообразия элементов существующих сегодня. **Материя** (от лат. *materia* – вещество) – философская категория для обозначения объективной реальности, которая отображается нашими ощущениями, существуя независимо от них (объективно). **Вещество** – вид материи, обладающей массой покоя. Наука, которая занимается изучением вещества – **химия**.

Термин “химия” происходит от египетского “*chemi*” – черный, откуда также греческое название Египта, чернозёма и свинца – “черная земля”. Позже химия определялась как искусство делания золота и серебра. Существует и другая точка зрения, связанная с древне-греческим *hymia* – сплав (металлов), литье, поток. Наука о веществах и их взаимодействиях, **химия**, считалась в Египте “божественной наукой”. Именно на арабском Востоке появился термин “алхимия” (химия находилась целиком в руках жрецов). Целью алхимиков было, главным образом, создание “философского камня”, способного все материалы превращать в золото.

Философский камень (лат. lapis philosophorum), он же магистерий, репис, эликсир философов, жизненный эликсир, красная тинктура, великий эликсир — в описаниях средневековых алхимиков некий реактив, необходимый для успешного осуществления превращения (трансмутации) металлов в золото, а также для создания эликсира жизни.

“Как получить из ртути золото?”

Один из вариантов – облучение нейтронами: ${}_{80}^{198}\text{Hg} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{80}^{199}\text{Hg} \rightarrow {}_{79}^{198}\text{Au} + {}_1^1\text{H}$.

Так как нейтроны редко попадают в ядра ртути, затраты энергии в этом процессе очень велики. Таким образом, процесс получения золота бомбардировкой ртути нейтронами экономически невыгоден.

В 1741 г. Михаил Васильевич Ломоносов впервые высказал предположения об атомно-молекулярном строении вещества, достаточно близкие к нашим представлениям. По определению Ломоносова, все вещества состоят из **элементов** (атомов), которые могут соединяться в **корпускулы** (молекулы). Точной наукой наука о веществах стала после того, как в середине XVIII в. 1748 г. Ломоносовым был сформулирован **Закон сохранения массы: масса всех веществ, вступающих в реакцию, равна массе всех продуктов реакции. Позже в начале XIX в. в 1799 г. Ж. Прустом установлен Закон постоянства состава: каждое химическое соединение имеет вполне определенный состав**, (то есть состав химического соединения не зависит от способа его получения). Это дало возможность Джону Дальтону в 1803 г. сформулировать **Закон кратных отношений, утверждающий, что элементы входят в соединение некоторыми порциями, и сделать вывод о дискретном строении**

вещества. Именно Дальтон ввел в современную науку представления об атомах, как мельчайших частицах, из которых образованы все вещества, и понятие “атомный вес”.

В некоторых странах Азии представление об атомном строении вещества существовало более чем за 1000 лет до н.э. Вероятно, эти идеи дошли до древнегреческих философов Левкиппа и Демокрита, которые в 5 в. до н.э. сделали вывод о невозможности бесконечного деления вещества на все более мелкие части. По-гречески “atomos” - неделимый. Поэтому частички, которые нельзя больше разделить, назвали атомами. Однако представления Левкиппа и Демокрита в Древней Греции не получили распространения (рьяный противник - Аристотель). Атомным представлением о строении вещества пришлось ждать более 2000 лет.

В настоящее время **химия** – одна из важнейших и обширных областей естествознания, наука о веществах, их свойствах, строении и превращениях, происходящих в результате химических реакций. Поскольку все вещества состоят из атомов, которые благодаря химическим связям способны формировать молекулы, то химия занимается в основном изучением взаимодействий между атомами и молекулами, полученными в результате таких взаимодействий.

Предмет химии – химические элементы и их соединения, а также закономерности, которым подчиняются различные химические реакции. Химию, иногда называют центральной наукой из-за ее особого положения среди естественных наук. Она соединяет физико-математические и биолого-социальные науки. Это делает химию “наукой-гигантом”. Современная химия является самой обширной среди всех естественных наук.

Химия – наука, исследующая закономерности, проявляющиеся на атомно-молекулярном уровне организации материи. Фундаментальными основами химии стали квантовая механика, атомная физика, термодинамика, статистическая физика и физическая кинетика. Одна из существенных особенностей химии, как науки, в том, что химия сама себе создает объекты для исследования и изучения. Как говорил Д.И. Менделеев: “Любой химический завод можно рассматривать, как большую химическую лабораторию”.

Двуединная задача химии: исследование генезиса свойств веществ и разработка на этой основе методов получения веществ с заранее заданными свойствами. (**Генезис** – происхождение, возникновение, начало.)

Концептуальные уровни современной химии. Четыре совокупности подходов к решению основной задачи химии формируют 4 концептуальные системы химических знаний.

1. XVII в. – учение о составе. Химия, как наука о химических элементах и их соединениях. Состав-свойство. Д.И. Менделеев. Учение о составе с Менделеевским определением.

2. XIX в. – структурная химия. Состав-структура-свойство. Одно и то же вещество, но разная структура, значит разные свойства. (Пример: алмаз, графит, карбин, фуллерены) или (“Оловянная чума” белое олово (блестящий металл) превращается в серое олово (порошок серого цвета).

*При температуре ниже 13,2 °С происходит увеличение удельного объёма чистого олова на 25,6 %, и металл образует новую модификацию, обладающую полупроводниковыми свойствами, — серое олово (α -Sn), в кристаллической решётке которого атомы располагаются менее плотно. Одна модификация переходит в другую тем быстрее, чем ниже температура окружающей среды. **При –33 °С** скорость*

превращений становится максимальной. Олово трескается и превращается в порошок. Причём соприкосновение серого олова и белого приводит к «заражению» последнего. Совокупность этих явлений называется «оловянной чумой».

“Оловянная чума” – одна из причин гибели экспедиции Скотта к Южному полюсу в 1912 г. Она осталась без горючего из-за того, что оно просочилось через запаиваемые оловом баки, поражённые “оловянной чумой”, названной так в 1911 г. Г. Коэном.

Некоторые историки указывают на “оловянную чуму” как на одно из обстоятельств поражения армии Наполеона в России в 1812 г. – сильные морозы привели к превращению оловянных пуговиц на мундирах солдат в порошок.

“Оловянная чума” погубила многие ценнейшие коллекции оловянных солдатиков. Например, в запасниках питерского музея Александра Суворова превратились в труху десятки фигурок — в подвале, где они хранились, лопнули зимой батареи отопления.

3. 50-е годы XX в. – учение о химических процессах. Кинетика и катализ. Химическая кинетика или кинетика химических реакций – раздел химии, изучающий механизмы протекания химических реакций, порядок химической реакции, а также закономерности протекания химических реакций во времени. Катализ - процесс, заключающийся в изменении скорости химических реакций в присутствии веществ, называемых катализаторами. Экспериментальная химия. Химическая термодинамика и физическая кинетика.

4. 70-е годы XX в. – эволюционная химия. Химия наших дней – химия живого, природная химия. Химия перенимает кое-что у природы и изготавливает промышленным методом.

Когда мы говорим о веществе, то подразумеваем вещества двух типов: элементы и соединения.

Сегодня известно 92 стабильных элемента (всего химических элементов к 2006 г. открыто 118) и многие сотни тысяч чистых веществ, построенных из них. Существуют тысячи минералов, десятки тысяч неорганических и особенно органических соединений, неисчислимо количество сплавов. Все разнообразие веществ возникает из сложного, но повторяющегося сочетания мельчайших составных частиц – атомов (как и все книги – суть набор нескольких десятков символов, собранных огромным разнообразием способов).

Попытки создания систематики химических элементов начались сразу после освоения наукой понятия об атомах. Однако только Дмитрию Ивановичу Менделееву удалось открыть периодический закон, позволивший не только систематизировать все известные на тот момент (1869 – 63 элемента) химические элементы, но и предсказать существование новых. В 1870 г. подобную систему создал немецкий ученый Ю. Л. Майер.

Созданная систематика позволила предсказать свойства элементов с вероятными атомными весами 44, 68 и 72. В 1875 г. был открыт галлий (ат. вес 69,7), в 1879 – скандий (ат. вес 45,1), в 1886 – германий (ат. вес 72,6). В 1893 г. был открыт аргон, которому не было места в периодической системе элементов. После обнаружения на Солнце (спектральный анализ), а затем и на Земле гелия, открытия криптона, неона, ксенона стало ясно, что “благородные” (инертные) газы образуют новую группу периодической системы. Это еще раз подтвердило строгость периодического закона Менделеева.

В то же время все атомы имеют примерно одинаковый размер ($\sim 10^{-10}$ м). Но что мы знаем о внутреннем строении атома? Из опыта известны “положительные” и “отрицательные” электрические заряды. ***Незаряженное тело просто содержит в себе равные количества разноименных зарядов.*** В этом состоит одно из величайших открытий физики.

Электрические заряды могут перемещаться в проводниках. За проводимость металлов ответственны электроны. Еще в Древней Греции было замечено, что если потереть янтарь кусочком ткани, то он приобретает свойство притягивать шерстинки. Элементарная частица, называемая сегодня электроном, открыта Джоном Томсоном в 1897 г. Итак, к концу XIX в стало известно, что вещество содержит в себе положительные и отрицательные электрические заряды. Минимальная “порция” вещества – атом. Следовательно, и атом должен состоять из положительных и отрицательных зарядов. Тогда простейшая модель атома – модель желе (пудинга с изюмом), в котором смешаны положительные и отрицательные заряды, и разделить их нельзя (модель Томсона, 1903(4)).

Решающий эксперимент по проверке этой модели был проделан в 1911 г. Э. Резерфордом, Х. Гейгером, З. Марсденом: α -частицы (ядра гелия), возникающие при радиоактивном распаде, направляли на тонкую золотую фольгу и наблюдали, как изменится направление их движения после прохождения через металлы. Если верна модель “желе”, то α -частицы не должны отклоняться от первоначального направления. Если же электрический заряд по атому расположен неравномерно, то α -частицы должны были бы по-разному отклоняться неоднородностями электрического заряда. Было обнаружено совершенно неожиданное явление – некоторые α -частицы отклонялись от первоначального направления настолько сильно, что почти возвращались к источнику.

В таблице 4 приведены результаты одного из экспериментов. Заметим, что все эти эксперименты проведены с помощью глаза – экспериментатор в темной комнате наблюдал вспышки на экране из вещества, светящегося при попадании на него α -частиц. (При адаптации к темноте человеческий глаз способен различать отдельные фотоны).

Таблица 4

Результаты одного из экспериментов по наблюдению рассеивания α -частиц

Угол отклонения	15	38	45	60	75	105	120	135	150
Число наблюдаемых α -частиц	132000	7800	1435	477	211	70	52	43	33
% от общего числа наблюдаемых частиц	92,87	5,5	1,0	0,3	0,1	0,03	0,025	0,02	0,015

Резерфорд следующим образом вспоминал свою первую реакцию на эти результаты: “...Я помню, ... ко мне пришел взволнованный Гейгер и сказал: “Мы, кажется, получили несколько случаев рассеивания α -частиц назад...” Это самое невероятное событие, которое было в моей жизни. Это почти так же невероятно, как если бы вы выстрелили 15-дюймовым снарядом в папиросную бумагу и он, отразившись, попал бы в вас. При анализе я понял, что такое рассеяние должно быть результатом однократного столкновения, и, произведя расчеты, увидел, что это никоим образом невозможно, если не предположить, что подавляющая часть массы атома сконцентрирована в крошечном ядре. Именно тогда у меня и зародилась идея об атоме с крошечным массивным центром, в котором сосредоточен заряд.”

Следует заметить, что еще в 1887 г., за 10 лет до открытия электрона и почти за 30 лет до работ Резерфорда, выдающийся русский физик Петр Николаевич Лебедев в своем дневнике писал: “...Каждый атом всякого нашего периодического элемента (H, O, Ba...) представляет собой полную Солнечную систему, то есть состоит из различных атомопланет, вращающихся с разными скоростями вокруг центральной планеты или каким-либо другим образомдвигающихся характерно периодически. Периоды движения весьма кратковременны...” По сути дела П.Н. Лебедев предвосхитил “планетарную” модель атома, предложенную Резерфордом в 1911 г.

Итак, по современным представлениям считается, что атом состоит из массивного положительного заряда – ядра, окруженного отрицательно заряженными “легкими” электронами. Таким образом, размер ядра составляет около 10^{-15} м, размер атома примерно 10^{-10} м, разница в размерах – пять порядков (сто тысяч).

После исследований Резерфорда стала ясной “геометрия” атома и удалось качественную разницу между атомами свести к количественной. Так в водороде имеется один электрон и ядро с положительным зарядом, численно равным заряду электрона. В периодической системе Менделеева атомы расположены в определенном порядке в соответствии с их номерами. Каждому номеру от 1 до 92 (кроме технеция – 43 и прометия – 61) соответствует элемент, обнаруженный в природе. Выше 92 номера существуют трансурановые элементы с малыми временами жизни, которые в природе при естественных условиях не встречаются.

На октябрь 2009 года известно 117 химических элементов (с порядковыми номерами с 1 по 116 и 118 – 2006 г), из них 94 обнаружены в природе (некоторые — лишь в следовых количествах), остальные 23 получены искусственно в результате ядерных реакций. Если уран, 92-й номер в таблице, живет миллиард лет, то 112-й элемент, который был синтезирован в Германии в 1995 г., живет 240 микросекунд. Но теория предсказывает, что если пойти еще дальше, ко все более тяжелым элементам, время их жизни начнет опять возрастать. Так, время жизни 114 – го элемента – 30 с, а 116-го элемента уже 50 миллисекунд. По меркам микромира, это просто

фантастически долго. Средняя скорость открытия новых химических элементов составляет один элемент в два года.

Однако каждое открытие ставит новые, более сложные вопросы. Действительно, почему бром с 35 электронами – коричневая жидкость, легко образующая соединения; криптон с 36 электронами – благородный газ, практически не вступающий в химические соединения; рубидий с 37 электронами – металл, химически очень активный? Почему один электрон (“лишний”) приводит к столь резкому изменению свойств элемента? На эти вопросы удалось получить ответ только после того, как была понята квантовая природа материи.

Есть и другие вопросы. Так, если мы принимаем планетарную модель атома, то считая, что электроны вращаются вокруг ядра, и зная размер атома (радиус орбиты электронов), мы можем оценить время оборота одного электрона вокруг ядра. Оно составляет 10^{-16} с. Правильность этой оценки легко проверить экспериментально – частота света, испускаемая раскаленным водородом, составляет 10^{16} Гц. Однако, если электрон испускает свет, то есть теряет свою энергию, радиус его орбиты должен уменьшаться и в конце концов электроны должны упасть на ядро. Но этого не происходит.

Более того, раскаленный и холодный водород должен был бы испускать свет одинаковым образом, однако холодный водород свет не испускает. Известно, что каждый атом испускает (или поглощает) свет вполне определенных частот, характерных только для данного атома. На этом основаны, в частности, методы спектрального анализа состава вещества.

Более того, атом газа сталкивается с другим атомом один раз за 10^{-12} с, то есть через каждые 10000 оборотов электронов вокруг ядра. И при этом сохраняется и частота излучения, и размер атома... представим себе, что Солнечная система или Земля столкнуться с подобным себе объектами...

Отметим особо свойства атомных систем, которые не способна описать модель Резерфорда.

1. **Устойчивость.** Атомы сохраняют свои специфические свойства, несмотря на сильные столкновения и возмущения, которым они подвергаются.

2. **Тождественность.** Все атомы одного рода (с одинаковым числом электронов) обладают тождественными свойствами. Они испускают и поглощают излучение с одними и теми же частотами, имеют равные размеры, свойства.

3. **Воспроизводимость.** Способность возвращаться в исходное состояние. Если форма атома была искажена, и его электронные орбиты изменили свой вид в результате внешнего воздействия (высокого давления, соседства других атомов и т. п.), то после устранения причины искажения атом и электронные орбиты вновь приобретут исходную форму.

Эти противоречия показывают, что планетарная модель, так же как и ее предшественники, – только некоторое приближение к действующему строению атома. опыты показывают, что атом как планетарная модель не

может обладать всеми перечисленными свойствами, а это значит, что данная модель приближенная. Нужен новый взгляд на природу атома. Некоторые представления об этом связаны с кварк-глюонной плазмой.