

Естественнонаучная картина мира

Лекция №6

Тема №5. Химические и биологические системы

Химическая картина мира. Химические элементы и структуры

Химическая картина мира — представление о химических веществах, их взаимодействии, структуре и особенностях современной химии и ее истории, влиянии химии на современный мир. Химия — наука о химических веществах и их взаимодействии. История химии прослеживает несколько этапов:

- химия древнего мира (Египет, Индия, Китай, Греция в большинстве своем эмпирические знания в виде технологий) как часть натурфилософии;
- алхимия средних веков (арабские и европейские страны, алхимики пытались решить 2 проблемы — превращения веществ с помощью философского камня, поиск эликсира бессмертия);
- ятрохимия Парацельса 16-й век (Начало фармацевтики, медицинской химии. Парацельс объяснял причины болезней нарушением химических процессов в организме. Как и алхимики, он сводил разнообразие веществ к нескольким элементам — носителям основных свойств материи. Следовательно, восстановление их нормального соотношения приемом лекарств излечивает болезнь.);
- теория флогистона Штала 17-18 век (Теория горения объяснялась особым веществом — флогистоном);
- формирование классической неорганической химии, закон сохранения массы Лавуазье, закон Авогадро о молярном объеме (конец 18 века - 60 годы 19 века; Ломоносов, Дальтон, Берцелиус);
- выделение химических элементов, создание теории валентности, периодическая система элементов Менделеева (Аррениус, Кекуле);
- создание органической химии (Бутлеров);
- создание теории кинетики химических реакций Семенова, структурное моделирование в химии;

Постепенно в химии формировались следующие базовые представления:

1. Химические реакции происходят с молекулами химических веществ. Молекулы состоят из атомов, структура атомного строения молекул влияет на характер и результат реакций.
2. Атомы не изменяются при химических реакциях. Меняются структуры образующихся молекул. При этом общее количество вещества остается неизменным.
3. Свойства химических веществ определяются валентными свойствами атомов их структуры. Валентные связи и химические свойства элемента определяются строением его атома, в частности наличием свободных мест в электронной оболочке атома. Число свободных мест равно валентности атома. Взаимодействующие атомы как бы «обмениваются» электронами, чтобы заполнить свои оболочки.

Периодическая система элементов. Структура молекул

| Группа \ Период | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|-------------------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 1 H | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 He |
| 2 | 3 Li | 4 Be | | | | | | | | | | | 5 B | 6 C | 7 N | 8 O | 9 F | 10 Ne |
| 3 | 11 Na | 12 Mg | | | | | | | | | | | 13 Al | 14 Si | 15 P | 16 S | 17 Cl | 18 Ar |
| 4 | 19 K | 20 Ca | 21 Sc | 22 Ti | 23 V | 24 Cr | 25 Mn | 26 Fe | 27 Co | 28 Ni | 29 Cu | 30 Zn | 31 Ga | 32 Ge | 33 As | 34 Se | 35 Br | 36 Kr |
| 5 | 37 Rb | 38 Sr | 39 Y | 40 Zr | 41 Nb | 42 Mo | 43 Tc | 44 Ru | 45 Rh | 46 Pd | 47 Ag | 48 Cd | 49 In | 50 Sn | 51 Sb | 52 Te | 53 I | 54 Xe |
| 6 | 55 Cs | 56 Ba | | 72 Hf | 73 Ta | 74 W | 75 Re | 76 Os | 77 Ir | 78 Pt | 79 Au | 80 Hg | 81 Tl | 82 Pb | 83 Bi | 84 Po | 85 At | 86 Rn |
| 7 | 87 Fr | 88 Ra | | 104 Rf | 105 Db | 106 Sg | 107 Bh | 108 Hs | 109 Mt | 110 Ds | 111 Rg | 112 Cn | 113 Nh | 114 Fl | 115 Mc | 116 Lv | 117 Ts | 118 Og |
| Лантаноиды | | | 57 La | 58 Ce | 59 Pr | 60 Nd | 61 Pm | 62 Sm | 63 Eu | 64 Gd | 65 Tb | 66 Dy | 67 Ho | 68 Er | 69 Tm | 70 Yb | 71 Lu | |
| Актинοиды | | | 89 Ac | 90 Th | 91 Pa | 92 U | 93 Np | 94 Pu | 95 Am | 96 Cm | 97 Bk | 98 Cf | 99 Es | 100 Fm | 101 Md | 102 No | 103 Lr | |

Периодическая система химических элементов (таблица Менделеева) — классификация химических элементов, устанавливающая зависимость различных свойств элементов от их заряда атомного ядра (числа протонов ядра). Система является графическим выражением периодического закона, открытого русским учёным Д. И. Менделеевым в 1869 году. Её первоначальный вариант был разработан Д. И. Менделеевым в 1869—1871 годах и устанавливал зависимость свойств элементов от их атомного веса (в современных терминах, от атомной массы). Основным принципом, по которому Менделеев строил свою таблицу, было размещение элементов в порядке возрастания их атомных весов. Основываясь на валентности и химических свойствах элементов, Менделеев

расположил все элементы по 8 группам, в каждой из которых размещались элементы со сходными свойствами. Причина периодических изменений физических и химических свойств элементов кроется в **периодичности строения электронных оболочек атомов**. Например, в правой части таблицы располагаются в виде крайнего столбца инертные элементы, у которых все оболочки заняты (что и определяет их химическую инертность). В первом столбце располагаются одновалентные атомы, у которых одно свободное место электрона. Кроме водорода, все остальные элементы щелочные металлы. Таким образом, в рамках столбцов собираются элементы подобных химических свойств. Они названы группами. Причем, по мере увеличения веса их металлические свойства усиливаются. Строки таблицы называют периодами. В рамках одного периода химические свойства меняются от металлических до не металлов. Таким образом, таблица дает возможность установить и объяснить химические свойства даже новых элементов (что и было сделано).

Химики выяснили, что свойства веществ, а значит и их качественное разнообразие обуславливается не только их составом, но и структурой молекул. Если знание **состава вещества** отвечает на вопрос о том, из каких химических элементов состоит молекула данного вещества, то знание **структуры вещества** дает представление о пространственном расположении атомов в этой самой молекуле. Это структурная модель молекулы. Атомы в молекуле химически связаны. *Химической связью называется взаимодействие между атомами элементов, обуславливающее их соединение в молекулы и кристаллы.* Взаимодействие обусловлено совместным использованием их электронов, чтобы заполнить незаполненные оболочки. Существуют **ковалентная (полярная, неполярная), водородная, ионная (ионно-ковалентная) связи, а также металлическая связь.**

Ионная связь образуется когда один из атомов теряет электроны со своей внешней оболочки (катион), а другой их приобретает (анион) противоположно заряженные ионы притягиваются друг к другу, образуя прочные связи. Ионные соединения – как правило, твердые вещества, имеющие очень высокую температуру плавления (соли, щелочи, напр., поваренная соль).

Ковалентная связь образуется в результате создания электронной пары, принадлежащей одновременно обоим атомам,

создающим молекулу вещества. Поскольку такие молекулы удерживаются слабыми силами, они неустойчивы и существуют в виде жидкостей или газов с низкими температурами плавления и кипения (кислород, бутан).

Водородная связь обусловлена поляризацией ковалентных связей, когда совместные электроны большую часть времени находятся у атома элемента, связанного с атомом водорода. В результате такой атом получает небольшой отрицательный заряд, что делает соединения с водородными связями более крепкими по сравнению с другими ковалентными соединениями (вода).

Металлические связи обусловлены свободным перемещением электронов внешних оболочек атомов металлов. Атомы в металлах выстраиваются в точно подогнанные друг к другу ряды, удерживаемые вместе электронным полем.

Химические реакции. Неорганическая и органическая химия

Развитие химии в первой половине 20 века привело к формированию теории динамики химических процессов — кинетической химии. В связи с развитием техники и именно в это время химия становится наукой уже не только и не столько о веществах, сколько наукой о процессах и механизмах изменения веществ. Интенсивное развитие промышленности и техники требовало качественного изменения подхода к химическим технологиям. Специальные высокопрочные каучуки, пластмассы, всевозможные полимеры и полупроводники было необходимо получать в больших количествах и при оптимальных затратах. Взаимодействие веществ в ходе реакции проходит неоднородно, необходимы специальные вещества — катализаторы, которые ускоряют реакции. Некоторые реакции выделяют энергию, другие поглощают ее. Все это нужно было учитывать. Химические реакции стали описывать сложными математическими уравнениями, основанными на законе сохранения вещества, законах диффузии, фильтрационного переноса с учетом объемного взаимодействия как самих веществ, так и катализаторов.

Теория динамики химических реакций

Химическая реакция определяется динамикой процесса химического взаимодействия и характеризуется энерго- и массообменом вступающих в реакцию веществ. Реакции по энергообмену

принято делить на экзотермические и эндотермические.

Экзотермическая реакция — химическая реакция, сопровождающаяся выделением теплоты. Противоположна эндотермической реакции. Примеры — горение, окисление, реакции с результирующим нагреванием веществ.

Эндотермические реакции — химические реакции, сопровождающиеся поглощением теплоты, электромагнитной энергии или каких-либо других видов энергии.

К эндотермическим реакциям относятся реакции: восстановления металлов из оксидов, электролиза (поглощается электрическая энергия), электролитической диссоциации (например, растворение солей в воде), ионизации (образования электрически заряженных ионов), фотосинтез.

Полное количество энергии в химической системе динамически меняется и ее изменение в химической реакции равно $\Delta E =$ энергия, потраченная на разрыв связей в старом веществе, минус энергия, выделенная при образовании связей продуктов реакции. Для экзотермических реакций эта формула даёт отрицательное значение для ΔH , так как большее значение вычитается из меньшего значения. Для эндотермических реакций изменение внутренней энергии имеет положительное значение таким образом, продукты реакции содержат больше энергии, чем исходные компоненты. Такой энергообмен объясняет влияние на динамику реакции температуры и нагревания со стороны внешней среды.

Влияние температуры принято оценивать правилом Вант-Гоффа и уравнением Аррениуса.

Правило Вант-Гоффа — эмпирическое правило, позволяющее в первом приближении оценить влияние температуры на скорость химической реакции в небольшом температурном интервале (обычно от 0 °С до 100 °С). **Вант-Гофф** на основании множества экспериментов сформулировал следующее правило: При повышении температуры на каждые 10 градусов параметр скорости гомогенной элементарной реакции увеличивается в два — четыре раза. Правилу Вант-Гоффа не подчиняются реакции, в которых принимают участие громоздкие молекулы, например, белки в биологических системах. Температурную зависимость скорости реакции более корректно описывает уравнение Аррениуса. **Уравнение Аррениуса** устанавливает зависимость скорости химической реакции от температуры. Это уравнение было получено из термодинамических

соображений. Согласно простой модели столкновений, химическая реакция между двумя исходными веществами может происходить только в результате столкновения молекул этих веществ. Но не каждое столкновение ведёт к химической реакции. Необходимо преодолеть определённый энергетический барьер, чтобы молекулы начали друг с другом реагировать. То есть молекулы должны обладать некой минимальной энергией (**энергия активации**), чтобы этот барьер преодолеть. Число молекул, обладающих такой энергией определяют по специальному статистическому закону распределения Больцмана для кинетической энергии молекул.

На динамику химической реакции воздействуют так же законы диффузии веществ (закон диффузии/перемешивания Фика) и наличие катализаторов различного рода. Чем более равномерно перемешаны вещества, тем быстрее идет реакция. Диффузия в смесях веществ возникает из-за термодинамического закона перехода любой системы к состоянию равновесия. Если на систему, находящуюся в устойчивом равновесии, воздействовать извне, изменяя какое-либо из условий равновесия (температура, давление, концентрация, внешнее электромагнитное поле), то в системе усиливаются процессы, направленные в сторону противодействия изменениям. Такой закон получил название принцип Ле-Шателье. В конце 19 века Анри Ле Шателье (Франция) сформулировал этот термодинамический принцип подвижного равновесия, позже обобщённый Карлом Брауном. Принцип применим к равновесию любой природы: механическому, тепловому, химическому, электрическому. Если внешние условия изменяются, это приводит к изменению равновесных концентраций веществ. В этом случае говорят о нарушении или смещении химического равновесия. Химическое равновесие смещается в ту или иную сторону при изменении любого из следующих параметров:

- Температуры системы, то есть при её нагревании или охлаждении.
- Давления в системе, то есть при её сжатии или расширении.
- Концентрации одного из участников обратимой реакции.

Влияние катализаторов на химические реакции было описано в законах катализа.

Катализ — избирательное ускорение одного из возможных термодинамически разрешенных направлений химической реакции под действием катализатора, который, многократно вступает в

промежуточное химическое взаимодействие с участниками реакции и восстанавливает свой химический состав после каждого цикла промежуточных химических взаимодействий. Термин «катализ» был введён в 1835 году шведским учёным Йёнсом Якобом Берцелиусом. **Катали́зация** (явление катализа) распространена в природе (большинство процессов, происходящих в живых организмах, являются каталитическими) и широко используется в технике (большая часть всех промышленных реакций — каталитические). Катализатор изменяет механизм реакции на энергетически более выгодный, то есть снижает энергию активации. Катализатор образует с молекулой одного из реагентов промежуточное соединение, в котором ослаблены химические связи. Это облегчает его реакцию со вторым реагентом. Важно отметить, что катализаторы ускоряют обратимые реакции как в прямом, так и в обратном направлениях. Поэтому они влияют на химическое равновесие системы. По влиянию на скорость реакции катализ делят на положительный (скорость реакции растёт) и отрицательный (скорость реакции падает).

Катализ бывает *гомогенным* и *гетерогенным*. При гомогенном катализе действие катализатора связано с тем, что он вступает во взаимодействие с реагирующими веществами с образованием промежуточных соединений, это приводит к снижению энергии активации. При гетерогенном катализе ускорение процесса обычно происходит на поверхности твёрдого тела — катализатора, поэтому активность катализатора зависит от величины и свойств его поверхности. На практике катализатор обычно наносят на твёрдый пористый носитель.

Особую роль играют процессы автокатализа и биокатализа.

Автокатализ — катализ химической реакции одним из её продуктов или исходных веществ.

Автокатализ играет ключевую роль в эволюционной химии, поскольку реакция, катализируемая собственными продуктами, получает преимущество перед реакциями, получающими катализатор извне (тем более — перед некаталитическими реакциями), что создаёт условия для естественного отбора.

Особую роль катализ имеет в биологических системах, где роль катализатора играют ферменты или энзимы. **Ферменты** или **энзимы**, — достаточно сложные молекулы белка, РНК или их комплексы, ускоряющие химические реакции в живых системах. Каждый

фермент, свернутый в определённую структуру, ускоряет соответствующую химическую реакцию. Ферментативная активность может регулироваться специальными активаторами (повышаться) или ингибиторами (понижаться).

Органи́ческая химия — раздел химии, изучающий структуру, свойства и методы анализа реакций углеводородов и их производных. Производными углеводородов называются вещества, полученные из углеводородов замещением одного или нескольких атомов водорода на другие атомы или группы атомов. Таким образом, химия веществ, полученных из биологических систем свелась к работе с углеводородами. Это связано с тем, что все известные нам биологические объекты основаны на углеводородах. Есть теоретические идеи о возможности аналогичной кремневой жизни, основанной не на углероде, а на его аналоге кремнии, но пока таких систем не обнаружено.

Углеводоро́ды — соединения, состоящие из атомов углерода и водорода или содержащие такие элементы в базовой структуре (производные). Поскольку углерод (С) имеет четыре валентных электрона, а водород (Н) — один, в соответствии с валентностью молекула простейшего углеводорода имеет формулу — CH_4 (метан). При дальнейшем усложнении структуры углеводородов структуры типа С-Н, Н-С-Н и т. д. формируют принимают «скелет» молекулы, которая может быть очень сложной. В результате существует огромное количество различных углеводородов с различными свойствами (пластики, пластмассы, резина, жидкости, топливо и т. д.). Способность углерода соединяться с большинством элементов и образовывать молекулы различного состава и строения обуславливает многообразие органических соединений. Органические соединения играют ключевую роль в существовании живых организмов, медицине, биотехнологиях и т. д.

Задачи органической химии :

- Выделение индивидуальных веществ из растительного, животного или ископаемого сырья
- Синтез и очистка соединений
- Определение структуры веществ
- Изучение механизмов химических реакций с углеводородами
- Выявление зависимостей между структурой органических веществ и их свойствами

Явление полимеризации

Полимеризация — процесс образования высокомолекулярного вещества (полимера) путём многократного присоединения молекул низкомолекулярного вещества (мономера, олигомера) к активным центрам в растущей молекуле полимера. Молекула мономера, входящая в состав полимера, образует так называемое мономерное (структурное) звено. Элементный состав (молекулярные формулы) мономера и полимера приблизительно одинаков. Обычно мономерами являются соединения, содержащие кратные связи либо циклические фрагменты, способные раскрываться и образовывать новые связи с другими молекулами, обеспечивая рост цепей.

В результате полимеризации природных мономеров — аминокислот, образуются белки. Мономеры глюкозы образуют различные полисахариды — гликоген, крахмал.

Мономер — низкомолекулярное вещество, образующее полимер в реакции полимеризации. Мономерами поэтому называют повторяющиеся звенья (структурные единицы) в составе полимерных молекул. Низкомолекулярные полимеры, образованные из небольшого количества мономеров и способные, в свою очередь, к полимеризации, принято называть олигомерами. Способность к полимеризации в основном обусловлена наличием двойных связей в их молекулах. Другие низкомолекулярные вещества принято называть димерами, тримерами, тетрамерами, пентамерами и т. д., если они, соответственно, состоят из 2, 3, 4, и 5 мономеров. Приставку «олиго-» (сахариды, меры, пептиды) добавляют в общем случае, когда полимер состоит из небольшого количества мономеров. Мономеры могут быть как органическими, так и неорганическими.

Рост полимерной цепи в ходе полимеризации осуществляется благодаря присоединению молекул мономера к активному центру на растущей цепи. Полимеризация может осуществляться в системах с разным агрегатным состоянием (в твердых телах, жидкостях, газах) и иметь ярко выраженный пространственный характер (объемная, поверхностная, проходящая в узком фронте). Различают два механизма полимеризации: **ступенчатую** полимеризацию и **цепную** полимеризацию. Отличие состоит в том, что при ступенчатой полимеризации реакция происходит между любыми двумя молекулами мономера, а макроцепь, соответственно, строится через стадии образования устойчивых димеров, тримеров и т. д. В цепной

же полимеризации рост цепи происходит только в результате реакции мономера с активным центром на конце растущей цепи. Полимеризация одного и того же мономера может протекать по обоим механизмам, но, как правило, полимеры, полученные в результате цепной полимеризации, имеют более высокую молекулярную массу. В ступенчатой полимеризации макроцепь на протяжении долгого времени растёт медленно. Вначале мономеры превращаются в димеры, димеры — в тримеры, тримеры — в тетрамеры и т. д., пока крупные олигомеры не начнут реагировать между собой — на этой стадии начинается быстрый рост макроцепи. Ступенчатые полимеризации протекают гораздо быстрее. Полимеризация стала одним из важнейших методов использования химических реакций для практического применения. Именно полимеры сегодня самые важные и распространенные химические вещества, создаваемые искусственно человеком.

Влияние химических процессов и технологий на природу, человека и развитие общества

Развитие химических технологий имеет как положительные факторы, так и отрицательные.

Положительные факторы

Современная химия крайне положительно отразилась на медицине. Это можно наблюдать по росту средней продолжительности жизни человека, которая растет все последние 100-150 лет. Без вовлечения новых химических материалов было бы невозможно и обеспечить современный уровень жизни и комфорта, который так же постоянно растет. Нам уже трудно представить как можно жить без пластика и пластмассы, двигателей внутреннего сгорания, искусственных тканей и большинства современных строительных материалов. Сегодня новые химические вещества окружают человека постоянно.

Отрицательные факторы

На всех стадиях своего развития человек был тесно связан с окружающим миром. Но с тех пор как появилось высокоиндустриальное общество, опасное вмешательство человека в природу резко усилилось, расширился объём этого вмешательства, оно стало многообразнее и сейчас грозит стать глобальной опасностью для человечества. Человеку приходится все больше вмешиваться в хозяйство биосферы - той части нашей планеты, в которой существует жизнь. Наиболее масштабным и значительным

является химическое загрязнение окружающей среды несвойственными ей веществами химической природы. Это газообразные, аэрозольные, жидкие и твердые загрязнители промышленно-бытового происхождения. Прогрессирует и накопление мусора, который стал все более химически активным. Вызывает тревогу у экологов и продолжающееся загрязнение Мирового океана нефтью и нефтепродуктами, достигшее уже 1/5 его общей поверхности. Нефтяное загрязнение таких размеров может вызвать существенные нарушения газо- и водообмена между гидросферой и атмосферой. Не вызывает сомнений и значение химического загрязнения почвы пестицидами и ее повышенная кислотность, ведущая к распаду экосистемы. В целом все рассмотренные факторы, которым можно приписать загрязняющий эффект, оказывают заметное влияние на процессы, происходящие в биосфере.

Химическое загрязнение биосферы

В основном существуют 5 основных проблем химического загрязнения — загрязнение атмосферы, загрязнение океана и других водоемов, загрязнение почвы, воздействие не свойственных природе химических веществ на растения, животных, микробиологические тела, попадание химических веществ в пищу, одежду, окружающую человека среду.

Многие химические вещества негативно воздействуют на биосферу и живые организмы. Наиболее важные негативные виды воздействия:

- мутагенное, связанное с воздействием на геном живых существ и их наследственность, на жизнестойкость последующих поколений;
- мутагенное, связанное с возрастанием риска заболеваний раком и другими матационными заболеваниями;
- пищевое отравление, связанное с попаданием химических веществ в пищевые цепочки биосферы;
- нарушение химического баланса среды, потеря кормовой базы, усиление внешнего воздействия среды на жизненные циклы;
- влияние загрязнения среды на образ жизни живых существ (например загрязнение океана нефтепродуктами и мусором приводит к нарушению нормальной жизнедеятельности птиц, рыб, морских млекопитающих).