

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

***Методические указания для студентов
к практическим занятиям
по дисциплине
«История и методология химии»***

Направление подготовки 04.04.01 Химия
Направленность (профиль) «Аналитическая химия и химическая экспертиза»

Ставрополь, 2026

Краткое содержание основных разделов для подготовки к практическим занятиям

Наука как составляющая цивилизационного процесса. Историческое многообразие форм науки.

Наука – одна из определяющих подсистем культуры, форма общественного сознания, направленная на получение и систематизацию знаний об объективной реальности, деятельность по выработке нового знания и результат этой деятельности.

Наука как исторически развивающаяся система знаний о свойствах и отношениях изучаемых объектов, каковыми являются природа, человек и социокультурная среда его обитания, прошла такой же эволюционный путь, что и человечество – от простейших состояний к сложным. О времени возникновения науки существует несколько точек зрения.

- Как опыт практической деятельности людей наука началась почти 2 млн. лет назад, когда человек стал приобретать и передавать практические знания;

- как доказательный вид знания, который отличался от мифологического мышления и культуры традиционных обществ, наука появилась в Древней Греции в V веке до н. э.;

- наука появилась в период позднего Средневековья. Здесь высокая значимость опытного знания была осознана в творчестве английских церковных деятелей Р. Гроссета и Р.Бэкона;

- наука возникла в конце XVI - XVII вв., когда появились труды И. Кеплера, Г. Галилея, И. Ньютона и др. (самая распространенная точка зрения). Построение математических моделей объектов, эмпирические результаты экспериментов, мысленные обобщения выступают основными признаками науки. В это время возникает первое научное объединение ученых – Лондонское королевское общество, т.е. создаются социальные условия науки;

- наука появилась в конце первой трети XIX в., когда на основе общей

научно-исследовательской программы объединились и совместились научно-исследовательская деятельность и высшее образование (точка зрения немецких естествоиспытателей В. Гумбольдта и Ю. Либиха).

Все эти точки зрения раскрывают особенности эволюции науки. Собственно наука как специфический вид деятельности, связанный с теоретическим знанием, возникла в V в. до н.э., а как полноценное социально-духовное образование – с XVII в., когда научный способ мышления стал достоянием естествознания (становление эксперимента как метода изучения природы, соединение математического метода с экспериментом и формирование теоретического естествознания).

В процессе формирования и развития научного знания можно выделить стадии, которые соответствуют историческому многообразию форм науки:

- кумуляция знаний с древнейших времен и древняя восточная преднаука;
- античная наука;
- средневековая наука;
- новоевропейская классическая наука;
- неклассическая наука;
- постнеклассическая наука.

Накопление донаучных рациональных знаний о природе началось еще в первобытную эпоху и эпоху первых цивилизаций Древнего Востока. Познавательная деятельность, духовное освоение мира – важнейшие обстоятельства, которые окончательно вырвали человека из-под влияния биологических факторов эволюции.

Процесс первоначального познания был двухуровневым, что отвечало сознанию человека традиционного общества. Первый – уровень обыденного, повседневного, стихийно-накапливающегося знания. Второй – уровень мифотворчества как некоторой «доисторической» формы систематизации обыденного повседневного знания. Для каждого из них характерны подчиненность практическим потребностям, рецептурность знания,

эмпирический характер его происхождения и обоснования, кастовость и закрытость «научного» сообщества (производство и передача знаний в культуре, например, Древнего Востока, закреплялись за кастой жрецов и чиновников и носило авторитарный характер).

Складывающаяся в древнегреческом мире наука (V-IV вв. до н.э.) явилась результатом длительного развития познавательной деятельности в предшествующий исторический период и эпоху первых цивилизаций Древнего Востока. Ее характерными чертами являются: теоретичность (источник научного знания – мышление), логическая доказательность, независимость от практики, открытость критике, демократизм.

Сущностные черты средневековой науки – теологизм, обслуживание социальных и практических потребностей религиозного общества, схоластика, догматизм. Научные истины («истины разума») имели более низкий статус по сравнению с религиозными истинами («истинами веры»). Алхимия, астрология, религиозная герменевтика выступают парадигмальными образцами средневековой науки.

В эпоху Возрождения и Новое время возникает новая форма научного знания – классическая наука. Основаниями ее являются: антитеологизм, детерминизм, механицизм; в области познания – эксперимент, математическая модель объекта, дедуктивно-аксиоматический способ построения теории. Создаются научные и учебные заведения нового типа. Усиливается связь науки с производством. Растет практическая значимость научного знания. Наука превращается в непосредственную производительную силу. В конце XVIII – первой половине XIX столетия возникает дисциплинарная организация науки.

С кризисом основ классического научного знания (конец XIX – начало XX в.) связано начало качественно нового этапа в историческом развитии науки – неклассической науки, основанной на фундаменте релятивизма (пространства, времени, массы), индетерминизма (фундаментальных взаимосвязей объектов), статистичности, системности, структурности,

организованности, эволюционности систем и объектов.

Гносеологическими и методологическими особенностями неклассической науки являются субъект-объективность научного знания, вероятностный характер научных законов и теорий, частичные верифицируемость научного знания, отсутствие универсального научного метода, интуиция. Неклассический этап развития науки завершается в 70-е гг. XX в.

В 80-е гг. XX в. формируется парадигма «постнеклассической» науки, преимущественным предметом исследования которой являются сверхсложные системы, включающие человека в качестве существенного элемента своего функционирования и развития. Основой этой формы научного знания является: системность, структурность, органицизм, нелинейный (многовариантный) эволюционизм, телеологизм, антропологизм, методологический плюрализм, конструктивизм, экологическая и гуманистическая ценность научной информации.

К двадцатому столетию сложилась следующая система наук:

- естественные науки (естествознание) – система научного знания о природе;
- технические науки – система научного знания о технических системах, науки ориентированные на реализацию естественно-научного знания.
- социальные и гуманитарные науки – система научного знания о человеке и обществе, социокультурной среде его обитания.

Зарождение и развитие химического искусства с древнейших времен

Химия относится к естественным наукам, которые изучают окружающий нас материальный мир. Материальные объекты, составляющие предмет изучения химии – это химические элементы и их разнообразные соединения. Изначально основными проблемами химии были получение веществ с полезными свойствами, позднее – объяснение причин

происхождения и обусловленности различных свойств веществ.

Слово «химия» (chemeia), вероятно, связано с очень древними понятиями, обозначающими наливание, настаивание. Слово «химеия» греки производили от «хюмос» - сок, «хюма» - литье, поток, а «химевсис» - смешивание. Древнекитайское «ким» означало золото. Химия в вольном переводе с китайского означает «наука об изменениях». Древнеегипетское chemi – «чернозем», название Египта. Название «химия», обозначающее искусство превращать неблагородные металлы в золото и серебро, встречается в указе римского императора Диоклетиана (296 г.н.э.). Термин «химия» в более современном произношении – «химейя» - впервые употребил греческий философ и естествоиспытатель Зосима Панополитанский во второй половине IV в. Этим термином он обозначил процессы настаивания.

Во все исторические эпохи человек стремился осуществить превращение веществ. Химия как наука о веществах и их превращениях сформировалась приблизительно к концу XVIII века. Но истоки химического искусства находятся в глубокой древности, когда люди в ходе повседневной практической деятельности имели возможность наблюдать и использовать для своих целей различные химические процессы. Древняя «химия» представляла собой некоторую совокупность сведений практического характера. Первоначальное накопление химических знаний осуществлялось в области ремесленной прикладной химии. В первую очередь эти сведения касались процессов выплавки и обработки металлов. Еще в древности возникли ремесла, в основе которых лежали химические процессы: выплавка металлов, получение стекла, керамики, красителей, лекарств, ядов, освоение бальзамирования и т.д.

Первыми металлами, которые использовались человечеством, были медь, свинец, золото и серебро. В древности широко использовался также сплав золота с серебром (егип. – азем, греч. – электрон).

Начиная с III тыс. до н.э. человечество стало использовать олово.

Одновременно широкое распространение получил сплав меди с оловом – бронза, что явилось началом новой эпохи развития человечества, получившее название «бронзовый век».

Высокий уровень развития техники обжига, усовершенствование высокотемпературных технологий привели к изготовлению изделий из железа приблизительно в середине II тыс. до н.э. В древности железо обычно изготавливали в горнах так называемым сыродутным способом с применением древесного угля. Постепенно техника выплавки и обработки железа достигла очень высокого уровня. Наступил «железный век». Возникновение металлургии позволило человечеству практически овладеть двумя важнейшими химическими процессами: обжигом – окислением металла и обратным превращением – восстановлением оксида в металл. Металлы стали основным естественным объектом, при изучении которого возникло понятие о веществе и его превращениях.

Ртуть стала использоваться позже – в III-II вв. до н.э., хотя есть данные о находках ртути, относящихся к XVI-XV вв. до н.э. Ртуть получали нагреванием киновари (HgS). На рубеже новой эры был разработан способ извлечения золота из руды ртутным методом (из амальгамы путем выпаривания ртути).

По свидетельству дошедших до нас письменных источников, в начале I тысячелетия н.э. широкое распространение получило искусство подделки металлов – изготовление сплавов, похожих на золото, серебро или электрон. Подобные подделки делали обычно на основе меди с самыми разнообразными добавками, в числе которых были олово, ртуть, свинец, окись цинка, мышьяк и др. Тогда же получило распространение изготовление изделий из латуни (сплава меди с цинком).

Другим важным ремеслом, требовавшим «химических» навыков, было производство красителей. И в Месопотамии, и в Египте уже в глубокой древности было развито получение как минеральных красок (сурик, белила, сажа и др.), так и красителей, выделенных из растительных и животных

организмов. Например, для окраски в желтый цвет использовали корень куркумы, а известный по меньшей мере со II тыс. до н.э. красно-малиновый краситель, пурпур, получали из моллюсков.

Помимо прямого, в древности существовали и протравные способы крашения. Последний предполагал использование специальных закрепляющих краситель веществ – протрав, в качестве которых употребляли алюминиевые квасцы, сульфат и ацетат железа, таниды из плодов и древесины различных растений и проч. Мыловарение, получение клея, скипидара, выделение смол и масел и множество других ремесел стали первым опытом химического производства.

К числу наиболее древних ремесленных производств относится изготовление стекла и керамики, в том числе и глазурованной. В состав глазури входила глина, растертая с поваренной солью, а позднее и сода, и окрашивающие добавки окислов металлов. Вероятно, именно смеси для глазуровки керамических изделий послужили исходным материалом для приготовления стекла. Самые древние стеклянные бусины были сделаны в Древнем Египте около 2500 г. до н.э., хотя широкое распространение стекло (в основном окрашенное соединениями металлов) получило примерно к XV в. до н.э.

К древним ремеслам, которые, наряду с перечисленными выше, сыграли впоследствии важную роль в развитии экспериментальной химии, следует отнести фармацию. Издавна в качестве лекарственных средств использовались, экстракты различных растительных и животных организмов, а также сера, некоторые минералы и металлы. Уже одна из древнейших сохранившихся рукописей Древнего Египта «Папирус Эберса» (XVI в. до н.э.) содержит рецепты изготовления фармацевтических средств.

К достижениям древних химиков-практиков следует отнести изобретенные в Китае способы изготовления бумаги и фарфора, а также пороха. Составные части пороха – селитра, сера и уголь – были известны, по-видимому, задолго до нашей эры, однако первые описания его образцов

относятся лишь к середине I тысячелетия н.э.

Итак, в древности были развиты многие ремесленно-химические производства, а круг используемых человечеством веществ был довольно широк. Однако, несмотря на весьма обширные навыки оперирования с веществами, практики, занимавшиеся ремесленными производствами, по-видимому, не задумывались над сущностью производимых ими операций и часто не замечали ни какой связи между отдельными процессами.

В древности не существовало понятия об определенных, обладающих неизменными свойствами веществах, а химики-ремесленники обычно отличали одно вещество от другого (и соответственно давали ему обозначение) на основании наблюдаемых различий или сходства внешнего вида (цвета, блеска) и устойчивости веществ. По эти признакам, например, многие сплавы золота принимались за разновидности самого золота, а некоторые минералы, блестящие или окрашенные, принимались за металлы. Одно и тоже вещество, полученное разными способами, могло восприниматься как разные вещества. Например, самородную ртуть (живое серебро) отличали от искусственной, получаемой из киновари (гидраргирум). Эти примеры показывают, что восприятие эмпирических фактов химиками-практиками в древности происходило лишь на уровне обыденного сознания без попытки осмысления и обобщения приобретенных практических навыков. Однако накопленный в течение многих веков богатейший практический опыт послужил основой для знакомства наших предков с разнообразными веществами и их свойствами, что явилось важной в историческом отношении ступенью в возникновении и развитии химических знаний.

Античные представления о веществе

Деятельность древних ремесленников не заключала в себе никакого теоретического осмысления природы веществ и их превращений. Однако, некоторые сведения о веществах, полученные в результате ремесленной

деятельности, попали в «поле размышляющего созерцания» античных философов и в какой-то степени были ими описаны. В эпоху Античности результаты познания природы путем умозрения считались существенно более достоверными, чем приобретенные через чувственный опыт. Именно поэтому в науках дедуктивного плана, например, в математике, древнегреческие философы достигли значительных успехов.

Химия как индуктивная наука начала формироваться только в XVII в., когда, с одной стороны, возник научный эксперимент, а с другой – началось проникновение теоретических обобщений в ремесло (что превратило его в систему химической технологии). В древности же не прямой, ни обратной связи натурфилософских теорий с практическим ремеслом почти не существовало. Древнегреческие натурфилософы, оказавшие большое влияние на развитие естественнонаучных знаний, всегда пытались понять наиболее общие закономерности. В своем стремлении понять самые общие закономерности мироздания они высказали ряд идей относительно скрытой природы вещей, наиболее существенными из которых являются идеи об элементе и об атоме.

В ранней греческой философии сформировалось понятие об элементе (стихии) – некоторой первичной субстанции, которая лежит в основе всего разнообразия окружающего мира. Фактически понятие элемента впервые сформировалось в утверждении Фалеса из Милета (VII – VI вв. до н.э.) о том, что первоначалом, или первостихией, из которой возникло все сущее, является вода. Вслед за Фалесом философы называли элементами-стихиями воздух (Анаксимен из Милета, VI в. до н.э.), огонь (Гераклит из Эфеса, V - IV вв. до н.э.) и иные начала. Проблема многообразия вещей в рамках этих представлений решалась с помощью категорий сгущения и разрежения, посредством которых происходят перемещения элементов.

В V в. до н.э. Эмпедокл высказал идею о неизменности (то есть непревращаемости) первоначал. При этом Эмпедокл придерживался представлений об ограниченной (по числу) множественности элементов-

стихий и относил к ним огонь, воду, воздух и землю. Он считал их «корнями вещей», но образование вещей происходит не в результате взаимопревращения элементов (они неизменны), а в результате их способности соединяться или отталкиваться под воздействием двух сил – любви и вражды. В учении Эмпедокла отчетливо выражена мысль о том, что причиной наблюдаемого разнообразия вещей является неодинаковое содержание в них каждого из элементов. Выделение четырех элементов как основы материального мира стало первой в науке попыткой классификации веществ исходя из общего принципа агрегатных состояний. В XVII в. эмпедоклова традиция получила дальнейшее продолжение в виде концепции элементов как предсуществующих составляющих тел.

Анаксагор (V в. до н.э.) развил представления Эмпедокла (четыре «корня» объясняют далеко не все многообразие бесчисленных качеств вещей). Он сформулировал принцип: все различные частицы обладают неодинаковым весом (массой). Так был введен новый классификационный принцип в развитие естественнонаучных знаний: различные вещества образуются соответственно из качественно неодинаковых частиц первоматерии. Согласно взглядам Анаксагора, в каждом веществе содержатся частицы («семена») разных элементов, но лишь частицы какого-либо одного элемента присутствуют в наибольшем количестве. Они-то и определяют основные качества вещества. Анаксагор считал, что в своей бесконечной делимости частицы веществ достигают размеров, которые выходят за пределы чувственного человеческого восприятия. Для развития естественнонаучных знаний была особенно важной конкретизация представления о существовании необычайно малых частиц первоматерии. Это сделали Левкипп и Демокрит.

В V в. до н.э. возникло новое учение – атомизм, выдвинувшее идею о дискретности материи. Основоположники атомизма Левкипп и Демокрит. Демокрит полагал, что все вещи видимого мира состоят из мельчайших неделимых и неизменных частиц – атомов, разделенных пустым

пространством. Образование тел есть результат движения и столкновения атомов и их «сцепления» друг с другом. Разнообразие всех вещей Демокрит объяснял различием числа, формы, величины и порядка составляющих их атомов.

В античное время атомизм встретил серьезные возражения. В первую очередь они касались самой идеи о существовании у тел предела делимости. Оставалось непонятным, почему и где должна существовать грань, за которой становится невозможным дальнейшее дробление вещества. Помимо идеи об атомах критиковались (в частности Аристотелем) представления Демокрита о том, что превращения тел являются следствием изменения порядка составляющих их атомов. Эти представления опровергало простейшее наблюдение: превращение жидкого тела в твердое при замерзании. Такое превращение происходило «само по себе», без какого-либо перемешивания, а значит, как полагали древние философы, не затрагивало внутреннего порядка атомов.

Наибольшие же возражения получили воззрения Демокрита о неизменности свойств атомов после их соединения друг с другом с образованием нового вещества. Такое представление не позволяло объяснить качественный скачок при формировании новых веществ, т.е. образование из бескачественных атомов и пустого пространства качественно оформленных (обладающих вкусом, цветом и запахом) сложных тел. Положению Демокрита о том, что вкус, запах, цвет, тепло, холод и т.п. существуют только во мнении, плохо соответствовало наблюдению и делало всю атомистическую концепцию очень умозрительной.

В V – IV вв. до н.э. элементаризм получил свое развитие в трудах афинских классиков Платона и Аристотеля. Платон придерживался представления о четырех элементах, но рассматривал воду, воздух, землю и огонь как качественно различные и изменчивые формы (состояния) единой, бескачественной и неизменной субстанции (материи). Для развития химических знаний большое значение имело разработанная Платоном теория

соединения первоэлементов. Согласно Платону, единая для всех основа, первоматерия, проявляется в разных телах по-разному, оказываясь то огнем, то водой, то воздухом, то землей. Например, в горючих телах проявляется воспламеняющая способность первоматерии (т.е. элемент огонь), в легких телах проявляется ее «летучая компонента» (т.е. элемент воздух). Элементы в такой трактовке выступали лишь как носители первичных качеств (свойств) вещей. Таким образом, в учении Платона понятия Эмпедокла об элементах-стихиях как неизменных субстанциях, образующих многообразные тела, трансформировались в изменчивые элементы-качества, придающие телам определенные свойства. Платон образно представлял себе взаимодействие элементов как изменение формы определенных «геометрических фигур». Треугольники первоэлементов, различающиеся своими размерами, постоянно взаимодействуя друг с другом, образуют многообразие веществ. Представления об образовании веществ из треугольников и элементарных частиц впоследствии оказали влияние на формирование взглядов о пространственном строении соединений.

Учение Платона было развито Аристотелем. Принимая идею об элементах как формах единой первичной материи, которые в разнообразных пропорциях содержатся в телах и придают им определенные свойства (качества), Аристотель считал каждый из элементов носителем двух из четырех свойств (воду – носителем холода и влажности, огонь – носителем тепла и сухости, землю – холода и сухости, воздух – тепла и влажности). По Аристотелю, превращение элементов друг в друга является следствием изменения хотя бы одного из качеств, составляющих элемент. Эти взаимопереходы элементов-качеств Аристотель считал обязательным условием превращения одного тела в другое. Таким образом, все многообразие вещественного мира возникло из четырех основных элементов в результате их смешения. Важнейшие качества каждого вещества определялись преобладающим в нем элементом. Аристотелевские представления об элементах приводили к фактическому отождествлению

предмета с его качествами (свойствами). Соответственно, вывод о наличии того или иного элемента в теле делался на основе оценки чувственно воспринимаемых свойств, которые ассоциировались с элементами (например, горючие тела содержали огонь, текучие – воду и т.п.). Подобный критерий присутствия элемента в теле будет характерен для химического мышления вплоть до XVII в.

В работе «О возникновении и уничтожении» Аристотель выдвинул очень важное и принципиально новое положение относительно причины качественного многообразия тел: возникновение новых веществ сопровождается изменением качеств. Объясняя процесс возникновения новых тел, он ввел понятие миксиса – соединения веществ в качественно новое образование. В этой теории соединение веществ рассматривалось не просто как их механическое смешение (синтезис), а как «тело», обладающее новыми, не присущими исходным компонентам, качествами (миксис). В миксисе исходные тела находились только в возможности (т.е. могли, в принципе, быть выделены снова). Необходимым условием миксиса Аристотель считал контакт, благодаря которому должно происходить изменение исходных веществ. Наблюдение показывало, что вещество с одними свойствами способно превращаться в другое вещество с другими свойствами. Но из полученного продукта с помощью определенных операций можно было снова выделить исходное вещество. Представления Аристотеля получили широкое распространение в эллинистический период и в Средние века.

В конце IV - III вв. до н.э. атомизм Демокрита получил развитие в трудах Эпикура. Большинство его воззрений дошло до нас благодаря поэме римского поэта-философа Лукреция Кара (I в. до н.э.) «О природе вещей». Лукреций, излагая учение Эпикура, писал об обладающих определенным размером и весом атомах, движущихся в пустоте с одинаковой скоростью. Атомы способны к спонтанному отклонению, что приводит к их соударениям и образованию агрегатов (промежуточной стадии между атомом и

соединением).

С историко-химической точки зрения наиболее интересным и важным аспектом атомизма Эпикура – Лукреция является попытка объяснения процесса образования сложного тела, обладающего качествами, из бескачественных атомов. По Эпикуру, сложное тело – консилиум – это образованная из атомов новая целостность, наделенная ранее отсутствовавшими у его компонентов свойствами вследствие гармонии (согласованности) атомных движений в консилиуме. Идея консилиума являла собой попытку объединить в одном учении атомистические воззрения с элементаристскими представлениями о миксисе.

Античное мышление с его умозрительным проникновением в строение вещества и причины его превращений принципиально не могло соединить представление об атомах с процессом образования нового химического соединения. Тот факт, что свойства соединения отличны от свойств его компонентов, требовал признания потери атомами при образовании соединения своей индивидуальности, а это вступало в противоречие с идеей о его неизменности и вечности. Так, в течение многих последующих веков, вплоть до Нового времени, элементаристские и атомистические взгляды оказались разобщенными, причем идея элемента (как субстанциального качества) стала господствующей (аристотелизм).

В начале новой эры определенную роль в дальнейшем разобщении этих учений стала играть алхимия.

Химические знания в эпоху Средневековья

Период, охватывающий более тысячелетия, начиная примерно с IV в. н.э., характеризуется медленным прогрессом науки. С историко-химической точки зрения интересным явлением, во многом определяющим «химическую» картину мира того времени, является алхимия – специфическая область средневековой культуры, которую связывают с попытками осуществления трансмутации – взаимопревращения металлов

(главным образом, с целью получения золота).

Зарождение алхимии в первые века нашей эры явилось результатом взаимодействия древнегреческой натурфилософии (учения Платона, Аристотеля и их последователей) с практическими знаниями древних ремесленников.

Под влиянием взглядов Аристотеля об общей основе всех тел и их различии в соотношении составляющих элементов-качеств во взглядах на материю сформировалось убеждение в возможности путем взаимопревращения элементов-качеств изменить это соотношение (и соответственно, превратить одно вещество в другое). Известные в то время практические факты подтверждали подобное убеждение. Так, изменения, которым подвергаются твердость, вязкость, цвет и другие свойства веществ (например, металлов) под влиянием многочисленных химических агентов, воспринимались как подтверждение превращения этих веществ и способствовали укреплению идеи об их общей сущности. «Металлы сходятся в эссенции; они различаются только своей формой», - отмечено в сочинениях крупнейшего средневекового ученого, философа и богослова Альберта Великого.

Одним из важных представлений средневековых философов было представление о степени совершенства объектов окружающего мира. Считалось, что каждый объект может существовать только в процессе бесконечного самосовершенствования.

Комбинация этих воззрений со взглядами Аристотеля, уподоблявшего металлы растениям за их свойство возникать из земли под действием холодных и влажных паров, трансформировалась в алхимическом мышлении в идею о способности металлов развиваться в глубине земли, подвергаясь целому ряду переходов от менее совершенного состояния к более совершенному (состояние совершенства характеризовалось, главным образом, способностью металла быть устойчивым к влиянию внешних сред). По убеждениям алхимиков природа в своем стремлении к совершенству

должна постоянно производить золото, но случайные стечения неблагоприятных обстоятельств приводят к образованию «несовершенных» металлов. Подобные идеи, по-видимому, опирались не только на воззрения философов, но и на тот факт, что в земле рядом с чистым металлом обычно встречаются его соединения, из которых чистый металл может быть извлечен. Это приводило к мысли, что соединения, в которых находится данный металл, есть как бы последовательные стадии его усовершенствования.

Своеобразное «смешение» философских идей и химических знаний ремесленников в алхимическом мировоззрении привело (примерно в VIII в.) к интересному в методологическом плане изменению – преобразованию аристотелевских элементов-качеств в алхимические элементы-принципы. Такими элементами-принципами стали считать серу и ртуть. Эти идеи были связаны с расцветом химических знаний в арабском мире начиная с 800-х гг. Арабские ученые знали переводы греческих и латинских авторов еще до VII в. Всемирно известный авторитет в области химических знаний Джабир ибн Хайан (VIII – нач. IX вв.) был автором нескольких сотен научных трудов, создателем научной школы, подобной платоновской Академии или аристотелеву Ликеею. Его современник, врач и философ Ар-Рази, систематизировал и классифицировал вещества (минеральные, растительные, животные) и обобщил опыт использования химических знаний для развития фармации и ремесел. Великий врач и философ Авиценна (около 980-1037 гг.), взгляды которого были близки к представлениям алхимиков, оказал огромное влияние на практические и теоретические знания не только своего времени, но и на последующие поколения (особенно «Канон»).

К XIII в. широко распространилось представление о том, что первичная материя состоит из серы и ртути, но не одноименных веществ, а качественных принципов (т.е. носителей определенных свойств, которые они придают телам). При этом сера обычно связывалась с таким свойством, как горючесть, а ртуть олицетворяла собой летучее начало. Соотношение серы и

ртути определяло индивидуальность каждого вещества, в том числе и металла. Таких представлений, высказанных еще в VIII в. арабским алхимиком Джабиром, придерживались знаменитые европейские алхимики XIII в. Альберт Великий, Роджер Бэкон, Арнольд из Виллановы, Раймонд Луллий и ряд ученых более позднего времени.

Нетождественность входящих в состав тел элементов-принципов ртути и серы одноименным веществам многократно подчеркивалась в средневековых сочинениях. Однако, само преобразование философской категории элемент-качество в элемент-принцип, а также оперирование очень многих алхимиков именно с соединениями ртути и серы свидетельствуют о том, что иногда элементы-принципы неосознанно воспринимались и как элементы-вещества. Этот факт отражает специфическую особенность алхимического мировоззрения, фактически принимавшего двойную сущность элемента: умозрительную и вещественную. В преобразовании аристотелевских элементов-качеств в алхимические элементы-принципы наметилось, пусть совсем незначительное, но тем не менее, заметное смещение акцента с очень абстрактных философских понятий о веществе в понятия, более подходящие для практических химических операций.

В XV в. в алхимических концепциях вещества появился третий элемент-принцип – соль. Этот элемент изначально рассматривался как посредник в соединении ртути и серы (его введение обычно приписывается немецкому монаху Василию Валентину).

С позиций представлений об элементах-принципах трансмутация металлов означала придание неблагородным металлам некоего определенного, соответствующего золоту соотношения ртутного и серного начал. Восприятие металлов как по сути одного металла (золота) различной степени совершенства приводило к мысли о возможности придать совершенство любому металлу с помощью алхимического искусства, в частности, воздействия на этот металл особым веществом – «философским камнем». Для Средневековья характерен взгляд на трансмутацию металлов

как на процесс двойственной природы: рациональный (проведение химических превращений) и мистический (процедура «священнодействия», загадочность изложения алхимических рецептов).

По мнению многих историков химии, приверженность идее трансмутации сыграла определенную роль в непопулярности атомистических воззрений в средние века, поскольку идея о неизменности атомов исключала возможность алхимической трансмутации. Атомистические концепции практически не упоминались в средневековых сочинениях, а иногда, как отличные от поддерживаемого церковью учения Аристотеля, даже преследовались.

К XV в. наметилась тенденция к постепенному угасанию златоискательской идеи, что повлекло за собой некоторое расширение задач алхимии. В это время большое распространение получила лекарственная алхимия, основным объектом которой стал человеческий организм. К началу XVI в. лекарственная алхимия оформилась в отдельное направление, которое получило название ятрохимия (или иатрохимия, от греческого слова «иатрос» - врач). Немецкий врач XVI в. Парацельс писал, что настоящая цель химии должна состоять «не в делании золота, а в приготовлении лекарств». В трудах Парацельса была развита идея о гармонии «химических» функций здорового организма и нарушении этой гармонии при болезнях. Разделяя алхимические представления об элементах-принципах – ртути, сере и соли – Парацельс высказал идею об определенном содержании этих начал в теле человека, изменение нормального соотношения которых вызывает заболевания. Факт сближения рассмотрения «элементарного состава» металлов и человеческого организма был интересным аспектом ятрохимических концепций.

В XVI – XVII вв. во многом благодаря трудам ятрохимиков наметилось проникновение алхимического теоретизирования в практическую деятельность ремесленников. Появились собственные труды технохимиков, например А. Либавия («Алхимия»), Г. Агриколы («О горном деле и

металлургии, 12 книг»), В. Бирингуччо («Pirotechnia») и др., суммирующие опыт извлечения металлов из руд, приготовление пиротехнических средств и т.п., носящие прикладной, утилитарный характер. Сочинения ятрохимиков, например, А. Либавия, содержали не только описания, но и рекомендации по усовершенствованию химических операций практического характера. Практическая химическая деятельность стала, таким образом, восприниматься как объект для изучения.

Результатом включения ремесленной технохимической деятельности в контекст ятрохимических (и алхимических) рассуждений стало преобразование к XVII в. химических ремесел в систему химической технологии. В трудах ятрохимиков наметился важный позитивный сдвиг в химическом мышлении, который проявился в придании элементу большего вещественного статуса (хотя осязаемая доля абстрактности в понимании вещей сохранилась). Лишь в конце XVIII в. одержали верх исследователи, называвшие себя «химиками», которые под алхимией понимали только поиски способов получения золота. Алхимия перестала существовать как область человеческой деятельности.

В литературе высказываются неоднозначные суждения о значении алхимии в истории науки: от признания ее по сути единственным руслом развития химических знаний в эпоху средневековья до отведения ей абсолютно негативной роли в истории научного познания.

Многие историки видят основное значение алхимии в ее своеобразном посредничестве между технологическим ремеслом и натурфилософским размышлением, в специфическом сближении в ней этих двух направлений человеческой деятельности. Это сближение в конечном счете проявилось в том, что в алхимическом мышлении наметилась важная особенность: одновременное размышление о веществе и оперирование с веществом.

Начало формирования химии как науки в XVII в.

В XVII в. вследствие взаимопроникновения науки и производства стали

происходить общемировоззренческие изменения в естествознании. Эти изменения проявились в возрастании интереса к решению конкретных, частных задач (в противовес умозрительным обобщениям древних философов), что привело к развитию эксперимента в науке. Значительное влияние на развитие естествознания оказала философия, например, труды Ф. Бэкона, который предложил индуктивный метод изучения природы и выдвинул перед естествоиспытателями задачу опытного исследования.

Развитие эксперимента сыграло определяющую роль в становлении химии как науки. В первую очередь, оно стало трансформировать традиционные представления о причинах разнообразия веществ. Эта проблема приобрела очень важное значение в химии XVII в. В традиционной – натурфилософской или алхимической – концепции индивидуальность каждого объекта определялась комбинацией элементов-качеств (или элементов-принципов), соединяющихся с бескачественной материальной сущностью (эссенцией) тела. Бесплодность подобного абстрактного понимания элемента в условиях развития экспериментальных исследований стимулировала постепенное осознание того факта, что между сущностью предмета и чувственно воспринимаемыми свойствами должно быть некое соответствие. Сближение качеств объекта с самим объектом давало возможность достоверно интерпретировать получаемые экспериментальные результаты и делать обоснованные предсказания.

В результате в химии XVII в. началось переосмысления понятия «элемент», который стал рассматриваться не как абстрактное качество или принцип, а как вполне реальное вещественное составляющее сложных тел.

Зарождающийся аналитический подход к определению составных начал (элементов) принципиально отличался от традиционного подхода, выводящего наличие элемента в составе данного тела на том основании, что оно обладает присущим этому элементу качеством. Традиционные же выводы о составе при восприятии элемента как вещества могли не подтверждаться химическим анализом. Расширение опытных исследований

привело многих ученых к изучению циклических последовательностей превращения веществ с обратным выделением исходных реагентов. Эти эксперименты приводили исследователей к мысли о том, что исходные вещества входят в продукты химической реакции в качестве составных частей, и снова выделяются при разложении этого продукта, как бы предсуществуют в разлагаемом теле и являются его составными частями (элементами). Так, традиционное понятие об элементе постепенно трансформировалось в понимание элемента как неразлагаемой составной части тела, вещество же стало рассматриваться как комбинация предшествующих элементов.

Английский ученый XVII в. Р. Бойль к книге «Химик-скептик», подытоживая подобные взгляды, отметил, что многие химики-экспериментаторы стали подразумевать под элементами «некоторые первоначальные, или простые, тела, иначе говоря, ни с чем не смешанные, которые, не будучи в состоянии образовываться ни из других тел, ни друг из друга, являются составными частями, из которых непосредственно слагаются или на которые в конечном счете разлагаются совершенным образом смешанные тела». В рамках новой элементаристской концепции индивидуальность свойств того или иного вещества определялась свойствами входящих в него компонентов (неразлагаемых элементов), т.е. фактически его качественным составом. А так как вещественные компоненты состава в отличие от абстрактных алхимических начал могли быть определены аналитическими методами, многие ученые XVII в. (И. Кункель, Н. Лефевр, Н. Лемери и др.) считали, что изучение этого элементного состава и должно являться важнейшим направлением химических исследований. Важные методики для химического анализа веществ разработал Р. Бойль. Он, будучи экспериментатором (ввел в химию экспериментальный метод), негласно принимал представление об элементах как пределе разложения вещества. Однако его отношение к элементаристской концепции было неоднозначным. Он предложил принципиально другое, теоретическое

объяснение происхождения свойств тел на основе корпускулярных представлений о веществе.

К началу XVII в. в научном мире наметилось постепенное возрождение атомизма. Это произошло в результате распространения механистических взглядов. Формирование в рамках механицизма представления о превращениях веществ как процессах сборки-разборки отдельных «блоков» нашло свое воплощение в гипотезах о дискретном корпускулярном (от лат. *corpuscula* – частица) строении вещества. Существенное влияние на развитие подобных учений оказали работы Р. Декарта, П. Гассенди, Т. Гоббса, В. и М. Кавендиш.

Попытка применить корпускулярную теорию для объяснения превращения веществ в химических реакциях была сделана в трудах Р. Бойля, с именем которого связывают процесс формирования химии как науки, основанной на корпускулярных представлениях. Идея Бойля имела важное методологическое значение. Такое объяснение впервые наполнило понятие качества (свойства) реальным физическим содержанием, представив его не как нечто имеющее неизвестное происхождение и изначально заданное в теле, а как результат определенного внутреннего устройства вещества. Кроме того, работы Бойля способствовали сближению химии с физикой, что в перспективе вело к изменению представления о химии как о разделе медицины и ее становлению как самостоятельной науки.

В начале XVIII в. И. Ньютоном была разработана корпускулярная концепция. Ньютон, подобно Бойлю и другим атомистам, считал корпускулы всех тел неизменяемыми, неделимыми, состоящими из единой субстанции и существующими в пустоте. Однако главную роль в возникновении индивидуальных свойств веществ Ньютон, в отличие от Бойля, отводил сочетанию корпускул посредством особых сил притяжения, которые действуют на малых расстояниях (динамическая концепция). Эта концепция сыграла ведущую роль в формировании новых представлений о химическом сродстве, опровергнув положение о различии в формах частиц и сведя

химические процессы к взаимодействию веществ за счет сил притяжения. Концепция Ньютона о взаимодействии тел, обусловленном проявлением сил различной природы, впоследствии сыграла очень важную роль в формировании «химической атомистики». Но в XVII-XVIII вв. корпускулярные представления хотя и были приняты очень многими естествоиспытателями, не получили дальнейшего развития в плане объяснения химических явлений. Например, М. В. Ломоносов в первой половине XVIII в. разработал свою «корпускулярную философию», дав целый ряд определений таким категориям, как атомы и молекулы (корпускулы и элементы).

Ситуация в химии XVII в., уже во многом экспериментальной науки, была неоднозначной. С одной стороны, еще очень сильна была старая алхимическая традиция, что накладывало отпечаток как на интерпретацию экспериментов, так и на мышление в целом. С другой стороны, в XVII в. наряду с весьма популярными алхимическими идеями появились принципиально новые воззрения: эмпирическая концепция предсуществующих элементов, сформировавшаяся в результате расширения эксперимента, и корпускуляристское учение, получившее распространение в результате возрождения атомизма. При этом во всех трех одновременно сосуществующих концепциях совершенно по-разному объяснялась причина разнообразия свойств веществ и сущность химических явлений. Начавшийся с развитием эксперимента прогресс науки свидетельствовал о том, что алхимические взгляды постепенно, но неизбежно утратят свою популярность. Поэтому выбор дальнейшего пути развития химии фактически определялся противостоянием именно элементаристской и корпускуляристской концепций.

В химии XVIII в. преобладающей стала первая тенденция как более близкая к старым традициям элементаризма и более соответствовавшая эксперименту той эпохи. При этом многие последователи элементаристских идей принимали сам факт существования атомов, или корпускул, но

воспринимали их только как абстрактную (структурную) единицу тел, а не как объект, участвующий в химической реакции, т.е. не как объект для химического исследования.

Теория флогистона

Для химии конца XVII - начала XVIII вв. характерно возрастание интереса к экспериментальным работам и отдаление от умозрительных концепций. Область химических исследований расширилась: началось интенсивное изучение состава и свойств веществ минерального и растительного происхождения. Возрастающее количество эмпирических фактов вызывало необходимость их систематизации, которая в первую очередь предполагала установление общих черт, характерных для анализируемых объектов или процессов. Важное место в химических исследованиях заняли реакции горения и обжига тел на воздухе.

В начале XVIII столетия задача систематизации процессов, связанных с горением, и сведение их к общему принципу, была решена в теории флогистона – фактически первой химической научной теории Нового времени. Эту теорию развил немецкий химик и врач Г. Э. Шталь. Основой теории Шталя была идея о наличии во всех горючих веществах общего компонента – флогистона (от греч. «воспламеняющийся»), который исчезает в процессе горения. На многочисленных опытных примерах Шталь доказывал способность флогистона передаваться от одного вещества к другому. Теория флогистона объединила в определенную систему известные к тому времени разрозненные факты химии, охватив обширный круг важнейших химических процессов (горение, окисление, восстановление и др.). Внешне очень разные реакции удалось свести к общему представлению о присоединении или выделении флогистона. Флогистон рассматривался и как вещественные частицы огня, и как огненная материя, соединенная со стихийной землей, и как соединение теплотворного вещества со световым и т.п.

Теория флогистона очень показательна в плане понимания особенностей химического мышления своего времени, состоявших в переходе от традиционного (алхимического и натурфилософского) восприятия веществ и их превращений к научному мышлению. С одной стороны, теория была принята несмотря на то что флогистон не отождествлялся с каким-либо реальным веществом, с другой стороны, уже ощущалась необходимость соответствия теории эксперименту. Так, М. В. Ломоносов выступил против распространенных в науке представлений о теплороде, или «огненной материи». Опираясь на разработанное им атомно-молекулярное учение, он разработал механическую теорию тепла и нашел новые аргументы в пользу принципа сохранения веса вещества и сохранения движения. На базе этого он сформулировал новые задачи химии как науки в противовес определениям своих современников, рассматривавших химию лишь как искусство.

В середине XVIII в. сторонниками теории Штала предпринимались многочисленные попытки изолировать флогистон. Особый интерес в этот период вызывала пневматическая химия (химия газов). С 1750 по 1775 гг. химия обогатилась открытием различных форм воздуха (газообразных веществ), среди которых так и не было найдено вещества, идентичного флогистону. Развитие пневматической химии и аналитических исследований во второй половине XVIII в. оказало определенное влияние на представление химиков об элементах. Различные виды первоэлементов (например, несколько видов земли или несколько видов воздуха) свидетельствовали об укреплении представления о них как о химически индивидуализированных веществах, а не понимании их как элементов-качеств. Химики постепенно приходили к разграничению понятий элемент и соединение, т.е. к мысли о существовании различных неразложимых на какие-либо компоненты и не трансмутируемых друг в друга элементов, сочетание которых образует химические соединения и обуславливает их свойства.

Расширение объектов химического исследования во второй половине XVIII в. привело к открытию настолько большого количества самых разнообразных экспериментальных фактов, что они уже не могли быть систематизированы в рамках теории флогистона. Ведущую роль здесь сыграли возникновение химии газов и постановка вопроса о весовых соотношениях. Теоретическое переосмысление химической информации в конце XVIII в. привело к опровержению флогистики и созданию новой системы представлений о химических веществах и их превращениях.

«Химическая революция» XVIII в.

Глобальные изменения во взглядах на химические явления, которые стали результатом работ французского ученого А. Лавуазье, в историко-химической литературе традиционно называют химической революцией. Это многогранное явление включает в себя такие важные составляющие, как замена теории флогистона кислородной концепцией горения, пересмотр принятой системы составов химических веществ, переосмысление концепции химического элемента и формирование представлений о зависимости свойств веществ от их качественного и количественного состава, а также другие аспекты.

В начале 1770-х гг. А. Лавуазье взялся за выполнение обширной программы исследований с целью анализа и систематизации известных эмпирических фактов о превращении веществ. Подход к этим работам может быть назван физико-химическим, поскольку его отличало последовательное применение экспериментальных методов и теоретических представлений физики того времени.

Лавуазье начал систематически использовать точное взвешивание для определения количеств веществ в химических реакциях. Важно, что, в отличие от своих предшественников, Лавуазье взвешивал все участвующие в химическом процессе вещества, в т.ч. газообразные, основываясь на общем положении о сохранении суммарного веса взаимодействующих веществ. Т.е.

его количественный метод базировался на аксиоме сохранения материи – фундаментальном положении классического естествознания, которое высказывалось еще в древности. Лавуазье определял количественно не только вес, но и различные физико-химические характеристики исходных веществ и получаемых продуктов реакции (плотность, температуру и т.п.). Измерение количественных параметров в перспективе давало возможность выяснить детальный механизм химических превращений, уже изученных с качественной стороны. Лавуазье выполнил весовое исследование многих химических процессов, проведенных ранее другими химиками. Это позволило ему выяснить причину увеличения веса веществ при обжиге и в конечном итоге прийти к пониманию сущности горения, принципиально отличному от принятого в теории флогистона. Основные положения кислородной теории горения были сформулированы в 1777 году. Согласно этой теории горение может происходить только в кислороде, и при этом происходит выделение света и огня. Вес сгоревшего вещества увеличивается точно на количество поглощенного воздуха.

Важную роль в укреплении новых теоретических взглядов сыграло установление химического состава углекислого газа и воды. Эксперименты Лавуазье привели к глобальным изменениям во взглядах на всю систему составов химических соединений. До этого в химии воздух, вода, кислоты, окислы металлов считались простыми телами, а металлы, сера, фосфор – сложными. Явления горения и окисления рассматривались как отделение флогистона (т.е. как упрощение вещества), восстановление же считалось процессом усложнения. К концу XVIII в. благодаря работам Лавуазье было принято, что флогистона не существует, воздух представляет собой смесь двух газов (кислорода и азота), вода, кислоты и окислы металлов являются сложными телами, а сера, фосфор и металлы не поддаются разложению.

В методологическом плане важным результатом переворота в химии, произведенного работами Лавуазье, было изменение содержания понятия «химический элемент». Элементы стали рассматриваться не как

предсуществующие в объекте продукты его разложения, а как тот последний предел, до которого вещества могут быть разложены в принципе. Элементы стали мыслиться как материальные, определяемые аналитическим путем фрагменты состава, неразложимые на качественно новые образования и сохраняющиеся в процессе любых химических превращений сложных тел, которые они составляют. В работах Лавуазье был предложен критерий предела разложимости тела (его элементарности), в основе которого лежал весовой метод анализа. При этом полагалось, что каждое качественно определенное вещество имеет всегда точно определенный и свойственный только ему количественный состав.

В сочинении «Начальные основания химии» (1879 г.) А. Лавуазье систематически изложил основы новой химии и предложил классификацию химических элементов и их новую номенклатуру. «Таблица простых тел» была, по существу, первой классификацией химических элементов. В нее вошли как реальные химические элементы, так и те соединения, которые тогда не могли быть разложены. В «Таблице» в качестве элементов также фигурируют два начала, теплород и светород, которые, как осознавал Лавуазье, не имеют веса, но появление которых постоянно связано с химическими изменениями. Отнесение тепла к элементам явилось следствием распространенных в то время в физике взглядов на природу теплоты, получивших название теории теплорода.

Известные французские химики К. Бертолле, Л. Гитон де Морво, А. Фуркруа совместно с А. Лавуазье разработали новую химическую номенклатуру. Преобразование химического языка имело целью дать каждому веществу определенное название, характеризующее его химическую функцию и состав (до этого одно вещество могло иметь очень много названий, часто даваемых случайно). В новой номенклатуре каждое вещество рассматривалось с точки зрения его общих (например, кислота) и конкретных (например, серная) свойств, определяемых на основании данных об элементном составе. Такая номенклатура облегчала обмен химической

информацией, и хотя в дальнейшем она неоднократно подвергалась изменениям, ее основные принципы сохранились до сих пор.

Еще один аспект переворота в химии конца XVIII в. связан с получением в работах Лавуазье и его последователей экспериментального обоснования закона сохранения элементов в химических реакциях и закона сохранения массы вещества. Эти законы явились основой для составления химических уравнений.

К концу XVIII в. большинство ученых стало придерживаться научных представлений, выработанных Лавуазье. Это завершило период формирования химии как самостоятельной науки. Принятые «элементаристские» представления о веществах и происхождении их свойств открыли путь для возникновения химической атомистики, которая привела к формированию нового научного химического мировоззрения.

Атомистическая теория Дальтона

Важнейшей предпосылкой для создания атомистики Дж. Дальтона явилось развитие количественных методов в химии, начавшееся в середине XVIII в. Убеждение в том, что количественные критерии, вес и объем, – главные свойства материи, легло в основу механистического мировоззрения XVIII-XIX вв. В это время были проведены важные исследования по определению количественных соотношений веществ, вступающих в химические реакции.

В 1793 году И. Рихтер провел исследования весовых отношений между кислотами и нейтрализующими их основаниями, позволившие ему ввести в химию понятие стехиометрии. Рихтер показал, что количества кислот, насыщающих одно и то же количество одного основания, находятся в таком же соотношении, как и количества тех же кислот, насыщающих одинаковое количество другого основания. Иначе говоря, в реакциях нейтрализации соблюдалось правило эквивалентных весов. Составленные Рихтером таблицы весов давали возможность рассчитать состав солей, которые еще не были

разложены, эти расчеты Рихтер и назвал стехиометрией (измерением стихий). Это были чисто эмпирические обобщения, теоретическое содержание которых оставалось неизвестным.

Проблема состояла в том, чтобы подвести общую теоретическую основу под весь эмпирический материал, раскрыв рациональный смысл эмпирических законов. Задача заключалась в выяснении связи между составом веществ и их внутренним строением. Эту задачу блестяще разрешил в начале XIX в. английский физик и химик Дж. Дальтон.

Основные положения химической атомистики Дальтон изложил в работе «Новая система химической философии» (1808). Дальтон развивает свои представления о строении вещества, опираясь на идеи атомизма. Основные положения химической атомистики Дальтона следующие:

- атомы неделимы ни механически, ни химически и характеризуются атомным весом;
- все атомы одного и того же вида тождественны (одинаковы по весу, объему и др. характеристикам), атомы различного вида не тождественны.

Разнородные атомы способны соединяться между собой в различных соотношениях, но вследствие своей неделимости они вступают в соединение только целыми единицами. Соответственно, «строение сложных атомов», образованных всегда из целого числа различных элементарных атомов, объясняет кратность отношений в составе химических соединений.

В 1803 году Дальтон опубликовал первую таблицу атомных весов используя свою систему символов химических элементов. В науку вошло фундаментальное понятие атомного веса, который был фактически первой относительной количественной характеристикой каждого атома. Введение этого понятия позволило установить взаимосвязь между макро- и микроуровнями организации вещества и подойти к истолкованию экспериментальных химических закономерностей на основе атомистической концепции.

Важным аспектом химической атомистики Дальтона было впервые

введенное в химию представление о качественной разнородности атомов различных элементов, которое понималось как следствие глубинных внутренних различий атомов, проявляющихся в нетождественности их весов и размеров. Эта идея принципиально отличала атомистику Дальтона от корпускуляристских концепций Бойля или Ньютона, предполагавших изначальную качественную однородность мельчайших частиц. Химическая атомистика позволила соотнести между собой разошедшиеся еще в древности понятия атома и элемента. Это достигалось положением о том, что каждому элементу соответствует определенный вид атомов.

Атомистическое учение Дальтона заключало в себе объяснение физического устройства вещества и объяснение химических явлений. Первое содержало представление об атомах как о мельчайших неделимых частицах определенного веса, способных соединяться с образованием «сложных атомов» (молекул) различного состава, а второе – представления о количестве элементов в сложных атомах, о методах определения атомных весов, об отношении масс реагирующих и образующихся веществ. Именно второй аспект атомистики Дальтона был особенно важен в условиях развития экспериментальной химии, поскольку принятие химиками атомистического учения зависело в первую очередь от соответствия этой теории экспериментальным данным.

С современной точки зрения химическая атомистика представляется поворотным моментом в развитии всей химии. Дальтон установил взаимосвязь между эмпирически измеримыми характеристиками веществ и теоретическими представлениями об их атомном строении, в результате чего атом из философской идеи абстрактно-механической модели превратился в конкретное «химическое» понятие. Атомистика Дальтона сделала более определенным и понятие элемента, а также способствовала возникновению научных представлений о сущности химической реакции и объяснила прерывность весовых отношений в химических соединениях. По мнению некоторых исследователей, с атомистики Дальтона начался новый период

развития научных представлений о веществе – этап познания строения вещества после того, как были пройдены этапы познания свойств (алхимия, ятрохимия) и состава (аналитическая химия XVII – XVIII вв.) вещества.

Химическая атомистика в XIX в.

Существенный вклад в развитие химической атомистики был внесен целым рядом ученых первой половины XIX в. Так, Й.Я. Берцелиус попытался создать на основе идей Дальтона целостную подкрепленную многочисленными экспериментальными данными теорию. В 1814 г. Берцелиус составил свою первую таблицу атомных весов, которые определил с высочайшей по тем временам аналитической точностью. Он ввел для обозначения химических элементов и их соединений символы, во многом сохранившиеся до настоящего времени. Также закон объемных отношений Гей-Люссака сыграл очень важную роль в развитии атомно-молекулярного учения.

Важные идеи о возможности соединить закон Гей-Люссака с атомической системой Дальтона были высказаны в работах итальянского физика А. Авогадро. В 1811 г. Авогадро сформулировал гипотезу о том, что число молекул в одинаковых объемах любых газов (при одинаковых условиях) всегда одинаково. Препятствием распространению взглядов Авогадро считают отсутствие четкого разграничения между понятиями «атом» и «молекула».

Атомистика XIX в. фактически предполагала наличие только двух основных уровней организации вещества: макротела и атома. Хотя мышление постепенно приближалось к представлению о молекуле, однако она понималась как «сложный атом» и не осознавалась как некая новая целостность, которая может быть характерна и для простых тел. Поэтому идеи о делимости молекул многих простых тел, привнесенные в теоретическую химию как бы с другой, непривычной и не очень ясной молекулярной стороны, оказались, в основном, невоспринятыми химиками-

атомистами, склонными придерживаться альтернативной атомической гипотезы Дальтона и Берцелиуса. Для объединения обеих теорий необходимо было отказаться от исходного методологического положения и осознать, что атом и молекула представляют собой качественно различные ступени организации вещества.

Существование различных систем атомных весов в первой половине XIX в. вносило серьезные осложнения в практику химических исследований. Ситуация осложнялась и тем, что само понятие «эквивалент» понималось по-разному: как соединительный вес, как атомный вес, как равнозначные количества вещества в реакциях замещения и т.п. В зависимости от принятой системы формулы соединений (минеральных и органических) составлялись по-разному и, соответственно, для одних и тех же веществ могло существовать несколько разных формул. Разногласия в определении формул соединений стали серьезно задерживать развитие химии, в которой был уже накоплен большой эмпирический материал, нуждавшийся в обобщении и систематизации.

В рамках органической химии в конце 1840-х – начале 1850-х гг. произошло возрождение и развитие атомно-молекулярных представлений, которое было связано, главным образом, с работами французских химиков Ш.Ф. Жерара и О. Лорана, которые инициировали реформу сложившейся в химии системы атомных весов.

Итальянский химик С. Канниццаро внес ясность в вопрос о различии атомных, молекулярных и эквивалентных весов и придал атомно-молекулярной теории законченный характер. Он сформулировал следующее определение понятия «атом»: «Различные количества одного и того же элемента, содержащиеся в различных молекулах, являются целыми кратными одного и того же количества, которое, выступая всегда нераздельно, должно с полным основанием именоваться атомом». В своей речи на Первом международном химическом конгрессе в Карлсруэ (сентябрь 1860) Канниццаро убедил многих ученых принять атомно-молекулярное учение и

предложил придерживаться единой системы основных химических понятий – молекулы как наименьшего количества простого или сложного вещества, вступающего реакцию и атома как наименьшего количества элемента, входящего в состав молекул. Атом же мыслился не как неделимый первичный объект материи, а как некая мельчайшая «элементарная частица». Реформой Канницаро завершается период установления количественных законов, и химическая атомистика достигает полного своего развития.

Большинством ученых второй половины XIX в. атомно-молекулярное учение было принято, и его распространение сделало возможными такие важные теоретические достижения в химии, как развитие понятий о валентности и о химической структуре.

Представления о строении органических молекул

Органические соединения были известны очень давно, однако вплоть до конца XVIII в. представления об их составе и свойствах были неопределенными, а их происхождение объяснялось в рамках концепции витализма (от лат. *vita* – жизнь). Сторонники этой концепции полагали, что вещества, составляющие организмы животных и растений, образовывались в них под действием особой «жизненной силы», и, соответственно, возможность получения таких веществ вне живого организма исключалась. Несостоятельность этих представлений была доказана синтезом органических соединений из неорганических. Впервые элементарный состав ряда различных органических веществ определил А. Лавуазье.

В начале XIX в. получила распространение точка зрения, которой придерживался Ж.Л. Гей-Люссак, Й.Я. Берцелиус и другие химики. Они полагали, что свойства органических тел обусловлены не только качественным составом, но и конституцией соединения – некой внутримолекулярной упорядоченностью атомов и их группировок. Введение радикального состава в дополнение к элементарному составу позволило объяснить многообразие органических веществ.

В теориях 1820 – 1840 гг. конституция органических соединений мыслилась или как комбинация «предсуществующих» радикалов, или как способ пространственного расположения атомов. Иную концепцию разрабатывал французский химик Ш. Жерар. Жерар рассматривал молекулу как унитарную систему, в которой все атомы связаны между собой одинаковой силой химического сродства и способны замещаться на радикалы.

В 1850-х гг. немецкий химик Ф.А. Кекуле ввел в химию понятие валентности (от лат. *valentia* – сила), которое легло в основу структурной теории органических соединений. Кекуле заключил, что при образовании органической молекулы каждая из единиц сродства одного атома вступает в соединение с единицей сродства другого. Таким образом, кекулевская концепция валентности фактически подразумевала признание идеи о дискретности и насыщаемости сил химического сродства. Понятие валентности сделало возможным переход от понятия конституция к понятию химическая структура. Немецкий химик Г. Кольбе полагал, что структура каждого индивидуального вещества должна выражаться одной единственной рациональной формулой

Русский химик А. М. Бутлеров сформулировал отличный от пространственных представлений взгляд на зависимость «структура-свойство». Согласно Бутлерову, химические свойства органической молекулы определяло, в основном, именно ее «химическое строение», а не пространственная структура. Причем, если последняя не могла быть определена химическими методами, то порядок связи атомов в органической молекуле был познаваем с помощью этих методов (например, Бутлеров благодаря своей теории смог предсказать и объяснить изометрию многих веществ). Теория Бутлерова рассматривала молекулы вещества как упорядоченную систему, наделенную динамикой взаимодействующих атомов. Она дала возможность предвидеть свойства органических соединений на основе их строения, синтезировать новые вещества,

придерживаясь определенного плана. В полном объеме теоретические воззрения Бутлерова нашли отражение в его работе «Введение к полному изучению органической химии» (1866).

Голландский химик Я. Х. Вант-Гофф предложил стереохимическую концепцию. Традиционные представления о пространственной упорядоченности атомов в его концепции получили новое звучание. Идеи Вант-Гоффа привели к представлению о молекуле как системе атомов, соединенных химическими связями, которые расположены под определенным углом, имеют определенную длину, и число которых для каждого атома определено. Вант-Гофф показал, что многообразие органических веществ, их свойства и состав определяются химическим и физическим строением.

В XIX в. было невозможно дать сколько-нибудь удовлетворительного объяснения причин дробления валентных сил, ранее представлявшихся в виде целых чисел, определяемых единицами сродства. Учение о валентности сыграло важную роль в создании структурной теории, хотя осталось достаточно проблем, решение которых стало возможным лишь с появлением электронной теории валентности, которая явилась результатом важнейших изменений во взглядах на вещество в самом конце XIX – начале XX вв.

Физикализация химии в конце XIX – первой половине XX вв.

Атомистическая концепция Дальтона подразумевала, что разнокачественность элементов проявляется в различии их атомных весов. Но проблема взаимосвязи между химическими свойствами элемента и его атомным весом продолжительное время не рассматривалась. Однако попытки систематизации элементов были предприняты в 1815-16 гг. английским ученым В. Праутом, в 1829 г. немецким химиком И. Деберейнером, в 1865 г. английским химиком Дж. Ньюлендсом, в 1870 г. немецким химиком Л. Мейером.

Наиболее обстоятельное решение проблема взаимосвязи атомного веса

и свойств элемента нашла в периодическом законе, сформулированном русским химиком Д.И. Менделеевым. Менделеев предположил, что атомный вес как базовая характеристика элемента должен определять его химическое сродство и, соответственно, все его свойства и свойства образуемых им простых и сложных веществ. В конце 1860-х гг. он задался целью создать универсальную классификационную систему элементов. В качестве основного принципа такой классификации Менделеев выбрал сходство элементов в качественном смысле, т.е. по характеру реакций. Еще одним базовым принципом системы Менделеева стал учет сходства и различия количественных параметров сопоставляемых элементов, прежде всего атомных составов их соединений.

В итоге Менделеев создал таблицу из чередующихся групп и рядов элементов и показал, что свойства каждого элемента зависят от его положения в таблице. Такая систематизация вносила определенный порядок в хаотическое множество фактов о химических элементах и их соединениях. Однако сам Менделеев увидел в этой системе не просто удобную классификацию, но новую всеобъемлющую закономерность – периодический закон, констатирующий периодичность физических и химических свойств элементов как функцию атомного веса. Этот закон не только обобщал уже известные факты, но должен был служить стимулом для будущих исследований, необходимость которых диктовалась тем, что в XIX в. многое в найденных закономерностях оставалось непонятным.

Экспериментальной проверке требовали и факты, предсказанные самим Менделеевым на основании периодического закона. Эти предсказания касались ряда еще неизвестных элементов, для которых в таблице были оставлены свободные клетки. Наличие свободных мест придавало периодической системе в большей степени теоретический, чем классификационный характер.

Важность открытия периодического закона проявилась и в том, что он внес новый аспект в физические исследования, способствуя сближению

физики с химией. Установление подтверждаемой экспериментом функциональной зависимости между физической величиной (атомным весом) и вещественной природой элемента поставило вопрос о причинах этой зависимости. Повторение свойств внутри групп элементов наводило на мысль, что существует нечто, повторяющееся в самих атомах. Менделеев считал, что причина закона лежит «во внутренней механике атомов и молекул».

В начале XX столетия мышление физиков и химиков смогло углубиться в познание этой «внутренней механики», что привело к утверждению новых взглядов на строение вещества и на периодичность в связи с важнейшими открытиями, сделанными в физике (установлением массы и заряда электрона, открытием радиоактивности и т.д.). Новые открытия способствовали появлению в физике первых моделей атома как сложной структурированной системы и первых попыток выявления на основе этих моделей физического содержания понятий «валентность», «структура», «химическая связь».

Попытки объяснить химические явления с позиций электронной теории были сделаны в трудах многих ученых. В 1913-14 гг. Дж. Томсон, Р. Абег, А. Ван ден Брук, Э. Резерфорд и Н. Бор пришли к идее о равенстве ядерного заряда атома и порядкового номера в периодической системе Менделеева.

Английский физик Г. Мозли подтвердил эту идею экспериментально. Исследования Мозли привели к новому пониманию периодичности химических свойств элементов. Он показал, что атому присуща характерная величина, регулярно увеличивающаяся при переходе от одного элемента к соседнему и доказал, что эта величина может быть только зарядом внутреннего ядра атома. Мозли разработал экспериментальный метод определения величин зарядов ядер и ввел термин «атомный номер». Знание атомных номеров рационализировало размещение в периодической системе радиоактивных элементов, многие из которых, как показали шведские химики Д. Стремгольм и Т. Сведберг, были химически неразличимы,

несмотря на различие атомных весов. В 1913 г Ф. Содди назвал такие элементы изотопами и поместил в одну клетку периодической системы.

Рассмотрение изотопов как одинаковых элементов внесло определенные коррективы в само понятие «элемент», поскольку в атомистической (дальтоновской) трактовке важнейшим признаком элемента служил атомный вес. Фактически химики начала XX в. стали оперировать представлением об элементе в рамках классической (восходящей к Лавуазье) концепции, согласно которой определяющей характеристикой каждого элемента являются его химические свойства, прибавив к этому идею о наличии специфического для каждого элемента спектра излучения при заданных условиях. Изотопы стали рассматриваться как элементы, химически эквивалентные, но физически отличные.

Параллельно с развитием представлений о строении атома происходило развитие электронной теории валентности и химической связи в трудах В. Косселя, Дж. Льюиса, И. Ленгмюра. Решение многих проблем стало возможным после создания квантовой механики в середине 20-х гг. Квантовая механика позволила проникнуть в сущность явлений, протекающих в атомах и молекулах, и на новом уровне подойти к раскрытию смысла понятия «химическая связь» и сущности периодического закона.

Формулировка модели химической связи с помощью представлений квантовой механики была сделана во второй половине 20-х гг. в работах В. Гайтлера и Ф. Лондона. По существу эти работы положили начало современной квантовой химии. Гайтлер и Лондон впервые показали, что образование химической связи между атомами обусловлено увеличением электронной плотности между ними, и ввели понятие об электронном обмене, за счет которого понижается полная энергия электронно-ядерной системы (что стабилизирует эту систему). В 1929 году ими было введено понятие спина электрона.

Для описания молекулярной структуры в квантовой химии были предложены два основных метода: метод валентных связей и метод

молекулярных орбиталей. Первый из них разрабатывался в конце 20-х - начале 30-х гг. в трудах американского химика Л. Полинга и других ученых. Основная идея метода валентных связей заключалась в предположении, что атомы в молекуле в значительной степени сохраняют свою индивидуальность.

В основе метода молекулярных орбиталей, разрабатываемого с 1928 г. Р. Малликоном, Ф. Хундом, Дж. Э. Леннард-Джонсом и др., лежало представление об электронной структуре атомов.

Некоторые историки химии видят в двух рассматриваемых квантово-механических приближениях иллюстрацию преемственности уходящего корнями в прошлое двойственного понимания молекулы – как цельного или структурированного образования. Соответственно, в разные периоды времени прослеживаются логические цепочки развития этих двух взглядов на строение молекул: восприятие ее как структурированного множества атомов (Кекуле, Бутлеров-Льюис – метод валентных связей) и унитарного, воспринимающего молекулу как цельное образование (Жерар-Ленгмюр – метод молекулярных орбиталей).

С помощью квантово-химических концепций стало возможным на новом уровне интерпретировать природу периодичности свойств химических элементов. Было принято, что сходство основных физико-химических свойств атомов элементов разных групп обусловлено сходством их электронных конфигураций, главным образом в распределении электронов по внешним атомным орбиталям, заполнение которых происходит в порядке возрастания их энергий и в соответствии с принципом Паули.

Квантовая химия, возникшая как область теоретической физики, обогатила естествознание глубокими представлениями об образовании химической связи, ввела в химию новые методы описания строения различных соединений и расчета распределения электронных зарядов атомов и связей. Следует отметить еще один важный в методологическом плане аспект квантово-химической теории. Хотя квантовая механика привнесла

новизну в способ описания движения частиц и потребовала учета взаимодействий особого типа, тем не менее для объяснения сущности химических процессов не возникло необходимости во введении понятий о новых, неизвестных в классической физике силах взаимодействия. В этом проявилась фундаментальная роль квантово-химической теории в естествознании.

Физическая химия

Проникновение физических теорий в химию в конце XIX в. затронуло не только вопросы структуры атомов и молекул, но и объяснение химических процессов. В это время оформилось направление, получившее название физической химии, которая (в дополнение к квантовой химии) стала своего рода теоретической базой химической науки. Поскольку большинство открытых в конце XIX – начале XX вв. физических закономерностей сохранили свое значение до настоящего времени, они составляют основу современной физической химии.

Физическая химия стала развиваться в разных направлениях. Некоторые работы в области физической химии проводились уже в конце XVIII – начале XIX вв. В 1850-е – 60-е гг. в работах Л. Вильгельми, Р. Бертло развивалось учение о скоростях химических реакций и о равновесии. В 1867-74 гг. австрийский физик Л. Пфаундлер изучал кинетику химических процессов. В 1889 г. шведский химик С. Аррениус развил теорию активных молекул и ввел в химию понятие энергии активации. Голландский химик Я. Вант-Гофф дал классификацию реакций по их порядку, т.е. по числу взаимодействующих молекул. К учению о кинетике примыкает и учение о катализе. В первой половине XIX в. Я. Берцелиус предложил называть «каталитической силой» способность некоторых веществ влиять на ход химической реакции. Основу современного учения о катализе создал немецкий химик В. Оствальд. Важные работы в области катализа в XX в. были сделаны П. Сабатье, Г. Бредигом, В. Н. Ипатьевым, Н. Д. Зелинским и

др. В начале XX в. серьезным стимулом для изучения каталитических процессов стало их промышленное использование.

Одновременно с кинетическим развивались термохимическое и термодинамическое направления физической химии. Важную роль в развитии химической термодинамики сыграли работы 1860-70-х годов Р. Клаузиуса и В. Томсона (Кельвина), которые развили динамическую теорию теплоты и сформулировали первое и второе начала термодинамики.

Проблемы химического равновесия рассматривались в работах Д. Гиббса, Я. Вант-Гоффа, А. Ле Шателье. В 1906-1911 годах немецкий химик В. Нернст разработал концепцию, получившую название тепловой теоремы Нернста, или третьего начала термодинамики.

Важное место в физической химии заняли разделы, связанные с электрохимией, и учение о растворах. Одним из наиболее важных и интересных в методологическом плане достижений в этих областях в конце XIX – начале XX вв. стала теория электролитической диссоциации С. Аррениуса, к созданию которой привел целый ряд предварительно найденных закономерностей. Впоследствии под влиянием взглядов В. Оствальда было сформировано основанное на теории электролитической диссоциации важное представление о кислотах и основаниях.

В некоторых историко-химических работах период конца XIX в., сменивший период учения о структуре веществ, называется периодом учения о реакциях. Наиболее существенный вклад в это учение внесла именно физическая химия. Изучая влияние на химические реакции физических параметров (температуры, давления, концентрации), физическая химия дала возможность исследовать механизм всякого химического изменения и позволила заранее установить наиболее благоприятные для его проведения условия (что было невозможно до возникновения соответствующего теоретического аппарата). Использование физических и математических моделей химических явлений и процессов придало химическому мышлению большую способность к абстрагированию и развило методологию

мысленного эксперимента. Значительная польза была принесена промышленности, так как физико-химические теории позволили во многих случаях заранее рассчитать наиболее экономичные пути осуществления промышленных процессов (контактного способа получения серной кислоты, синтеза аммиака и др.).

Особенности и тенденции развития химии в XX в.

Химия XX в. характеризуется наличием особого теоретического фундамента – атомно-молекулярных представлений, основанных на квантово-механической модели атома. Наличие такой базы существенно повысило роль теоретической химии в XX столетии по сравнению с предыдущим этапом развития этой науки. Создание принципиально новых (квантово-химических и физико-химических) концепций сделало возможной количественную оценку реакционной способности веществ и количественную характеристику особенностей протекания их химических превращений, что привело к значительной интенсификации взаимодействия теории и эксперимента.

Широкое применение физико-математического аппарата в химии XX в привело к возрастанию роли моделирования в этой науке. Использование моделей воспроизводящих в той или иной степени точности некую реальную систему, сделало возможным получение информации о процессах, происходящих в сложных объектах, на объектах более простых. Во второй половине XX в. широкое распространение получило компьютерное моделирование, т.е. компьютерное воспроизведение химического процесса.

Метод моделирования (и качественный и, особенно, количественный) оказался чрезвычайно плодотворным благодаря его способности обеспечить прогнозирование эксперимента, т.е. предсказать оптимальные условия и способы проведения реакции, а также свойства получаемого вещества. Усиление предсказательной способности химии XX в. привело к важной особенности – смещению акцента в химических исследованиях с синтеза

просто вещества на синтез вещества с заранее с заданным комплексом свойств. Определенную роль в этом сыграл и внешний фактор – недостаточность природных веществ для целей практического использования и потребность в синтетических материалах с определенными свойствами (синтетических волокнах, искусственных красителях, специфических удобрениях, лекарствах и пр.).

Прогресс химии XX в. во многом определили физико-химические и физические методы исследования вещества, что особенно характерно для второй половины XX столетия. Появление и развитие таких методов, как рентгеноструктурный анализ, масс-спектрометрия, методы электронного парамагнитного резонанса, ядерного магнитного резонанса, ИК спектроскопии и других привнесло не просто экспериментальное усовершенствование, а качественно новый аспект в химическое исследование – возможность определить пространственную структуру молекулы. Эта возможность оказалась определяющей для развития химии, поскольку свойства вещества зависят от строения его молекул. Появление физических методов исследования вещества способствовало тому, что микросистемы стали объектом особого внимания в химической науке XX в.

Ряд важных особенностей химии XX столетия является следствием процессов, характерных для всех областей естествознания этого периода. Наиболее заметным из них является значительное расширение областей научных исследований, которое проявилось в процессах интеграции и дифференциации наук.

Взаимодействие химии с другими естественными науками привело к возникновению целого ряда пограничных областей. Так, физическая химия фактически представляет собой результат интеграции физики и химии. Самостоятельными науками стали биохимия, геохимия и др.

Дифференциация химической науки XX столетия проявилась в возникновении отдельных ветвей химии – неорганической, физической,

органической и др., каждая из которых приобрела признаки независимой науки. Разделение различных направлений химии было основано как на методах (например, лазерная химия, химия высоких давлений, комбинаторная химия) так и на объектах исследования (нефтехимия, химия полимеров и др.). В XX в. возникло довольно много новых направлений в химии, потребовавших специфического теоретического аппарата (радиохимия, медицинская химия и др.). В рамках процесса разделения химической науки на отдельные дисциплины следует отметить размывание границ между ними и условность отнесения ряда исследований (например, исследований элементоорганических веществ или координационных соединений с органическими лигандами) к тому или иному разделу.

Одним из важнейших результатов интеграции химии с другими дисциплинами стало появление во второй половине XX в. новой тенденции в ее развитии. Эта тенденция проявилась в определяющем значении биологических и экологических проблем в химических исследованиях и явилась следствием быстрого прогресса биологических дисциплин во второй половине XX в.

Для развития науки в XX столетии вообще, и, в частности, химии характерны некоторые так называемые внешние особенности. Они проявились в том, что исследования в этот период стали проводиться в рамках институтов, как, правило, не единичными исследователями, а (особенно во второй половине XX в.) большими группами исследователей. Существенно возросла роль информационного фактора – увеличилось количество периодических изданий, конференций и пр., способствующих быстрому обмену информацией и прогрессу химической науки. К концу XX столетия химия стала представлять собой громадный конгломерат научно-исследовательских разработок и мощной химической индустрии.

В XX в. различные разделы физической химии получили дальнейшее развитие, и некоторые из них (химическая кинетика, коллоидная химия, электрохимия и др.) стали обширными научными дисциплинами,

выходящими за рамки классической физической химии.

Так, в 1930-х гг. в работах русского физика и химика Н.Н. Семенова и американского химика С. Хиншелвуда были созданы (и подтверждены экспериментально) основы теории разветвленных цепных реакций.

Работы Д. Ч. Поляни, Д. Р. Хершбаха и др. способствовали развитию нового направления в области химической кинетики – изучению динамики элементарных химических процессов.

Из важнейших разделов химической термодинамики, оформившихся в XX столетии, следует отметить статистическую термодинамику, а также неравновесную термодинамику. Создание основ последней в 1930-х – 60-х гг. в работах Л. Онсагера и И. Пригожина было особенно важно в методологическом отношении, так как означало выход за рамки классической термодинамики и определило подходы к изучению принципиально новых систем.

Отдельным физико-химическим направлением стала электрохимия. В начале 1930-х гг. в этой области сформировался обширный раздел, изучающий кинетику и механизм электродных процессов. Важные базовые исследования в этом направлении были сделаны И. Хориути и М. Поляни, а также А.Н. Фрумкиным.

Важным научным направлением, сформировавшимся в XX в. и оказавшим существенное влияние на самые разные области химической науки, стала структурная химия, или, более узко, кристаллохимия.

Самостоятельной дисциплиной, возникшей на границе физики и химии, стала коллоидная химия – наука о дисперсном состоянии веществ с определяющим влиянием поверхностных явлений. Обнаружение специфики коллоидной частицы позволило многим философам и историкам химии рассматривать ее как пример изученного в XX столетии «усложнения уровней внутренней организации» вещества по сравнению с различаемыми во второй половине XIX в. атомом и молекулой. К таким более сложным видам организации вещества (которые часто трудно однозначно отнести к

физическим или химическим) относят не только коллоидные частицы, но и полученные в 1950-х – 1990-х гг. «топологические» молекулы (катенаны, ротаксаны), супрамолекулы, а также наносистемы и т.п. Отметим, что наносистемы (а наноразмер – это размер коллоидной частицы) стали выделять в отдельную группу химических объектов примерно в 1980 – 1990-х гг.; тогда же возникло специальное направление исследований – нанохимия.

В XX в. появились новые пограничные с физикой и химией области исследований, например, свои специфические задачи появились у радиохимии; использование специальных лазеров в конце 1960-х гг. для инициирования или модификации химических реакций привело к возникновению лазерной химии и фотохимии.

Теоретические физико-химические и квантово-химические разработки XX столетия, развитию которых в 1960-х – 1970-х годах способствовало совершенствование вычислительной техники, проникли практически во все области химической науки и оказали существенное влияние на тенденции развития химической технологии (компьютеризацию технологических процессов, создание технологических систем с учетом глобальных энергетических и экологических проблем и т.п.).

В органической химии наиболее ярко проявилась свойственная химии способность создавать вещества, не существующие в природе. Например, в 1940-60-х гг. американский химик Р. Вудворд осуществил синтез сложнейших биологически-активных органических соединений – хинина, витамина В12, стрихнина, холестерина, и др. В конце 1960-х гг. американский ученый Э. Кори сформулировал общую методологическую концепцию органического синтеза, получившую название ретросинтетического подхода. Последняя нобелевская премия по химии (2006 г.) была присуждена за вклад «в развитие метатезиса в органическом синтезе» французскому ученому И. Шовену и американским ученым Р. Граббсу и Р. Шроку. «Успехи в исследовании реакции обмена, сделанные

этими учеными, позволяют создавать новые молекулы для использования в фармацевтических препаратах и безвредном для окружающей среды производстве химикалий и пластмасс», - отмечается в сообщении Королевской академии наук Швеции.

На границах органической химии с другими дисциплинами в разные периоды XX в. появились и получили свое развитие многие научные направления, которые выделились в самостоятельные научные дисциплины. К их числу относятся: элементоорганическая химия, химия нефти, супрамолекулярная химия, биохимия, молекулярная биология, медицинская химия, химия высокомолекулярных соединений и др.

Важную роль в становлении развитии химии элементоорганических соединений сыграли работы российского химика А. Н. Несмеянова, который предложил универсальный метод синтеза металлоорганических веществ и определил закономерности между положением металлов в периодической системе и их способностью образовывать металлоорганические соединения.

Во второй половине XX в. оформилась отдельная дисциплина – супрамолекулярная химия (химия «за пределами молекулы»). На стыке органической химии, коллоидной химии и физики зародилась химия высокомолекулярных соединений. Осознание факта качественной специфики макромолекул по сравнению с низкомолекулярными соединениями привело в 1950-60-е гг. к формированию науки о полимерах в самостоятельную область химии. Причиной повышения интереса к полимерным веществам стало осознание их широких возможностей в плане практического применения, поскольку макромолекулярное строение придает этим веществам уникальные свойства – пластичность, эластичность и т.д.

Во второй половине XX в. очень большое значение приобрели научные дисциплины, возникшие на границе органической химии и биологии. «Взрывное» развитие претерпели такие науки, как биохимия, биоорганическая химия, молекулярная биология и т.д. Методы органической химии широко использовались при изучении белковых веществ и ферментов.

Также началось интенсивное развитие химии нуклеиновых кислот. В начале 1950-х гг. было сделано два основополагающих открытия в химии нуклеиновых кислот. Английские химики А. Тодд и Д. Браун обосновали базовый принцип строения РНК. В 1953 г. Дж. Уотсон и Ф. Крик установили вторичную структуру ДНК, что позволило объяснить процесс удвоения молекул ДНК при делении клеток.

Возникло новое самостоятельное направление исследований – молекулярная биология, изучающая биологические явления на молекулярном уровне. Она добилась удивительных успехов в изучении химизма передачи наследственных признаков. Так, в 1950-70-х гг. были синтезированы первые полинуклеотиды, расшифрован генетический код, расшифрована первичная структура ряда молекул ДНК и РНК. Все эти исследования открыли путь для развития генной инженерии. В области молекулярной биологии были сделаны важнейшие открытия, касающиеся химических основ процессов синтеза белка в клетке, передачи нервного импульса и многих других биологических процессов.

Хотя осмысление и анализ научных достижений второй половины XX в. историкам химии еще предстоит, тот факт, что области исследований на стыке органической химии с биологией стали в этот период доминирующими в научной химической проблематике, представляется несомненным уже сейчас. Интерес к изучению биологических объектов и процессов проявился практически во всех областях химии.

Долгий путь развития химических теорий привел к небывалому прогрессу химии XX в., результаты которого стали неотъемлемой частью общего прогресса естествознания и повседневной жизни каждого человека.

Основными **формами самостоятельной работы и контроля** студентов являются:

Индивидуальное решение заданий, позволяющих оценивать и диагностировать уровень обученности, уровень умений и навыков по дисциплине.

Собеседование - форма учебной деятельности, специальная беседа преподавателя со студентом на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, рассчитанная на выяснение объема знаний студента по определенному разделу, теме, проблеме и т. п., позволяющая оценить их умение аргументировать собственную точку зрения, предполагающая всестороннее обсуждение какого-либо вопроса, проблемы или сопоставлении информации, идей, мнений, предложений.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

***Методические указания для студентов по организации самостоятельной
работы по дисциплине
«История и методология химии»***

Направление подготовки 04.04.01 Химия
Направленность (профиль) «Аналитическая химия и химическая экспертиза»

Ставрополь, 2026

Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работе студентов

Индивидуальное решение заданий, позволяющих оценивать и диагностировать уровень обученности, уровень умений и навыков аспирантов по дисциплине

Для подготовки к выполнению задания следует изучить и проанализировать рекомендованную литературу и на их основании подготовиться к изложению темы.

При проверке задания оцениваются

- уверенное владение материалом;
- умение четко и логично излагать свои мысли;
- умение творчески подходить к решению основных проблем темы;
- самостоятельность мышления, умение отстаивать свою позицию в ходе последующих дискуссий,
- самостоятельная и выразительная устная речь, полностью раскрывающая суть проблематики задания.

Собеседование - форма учебной деятельности, специальная беседа преподавателя со студентом на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, рассчитанная на выяснение объема знаний студента по определенному разделу, теме, проблеме и т.п., позволяющая оценить их умение аргументировать собственную точку зрения, предполагающая всестороннее обсуждение какого-либо вопроса, проблемы или сопоставлении информации, идей, мнений, предложений.

Принципиальные отличия заданий базового уровня от повышенного заключаются в большем объеме фактов и событий, в сравнительно-аналитическом характере изложения материала, его теоретической (методологической) составляющей.

Для подготовки к каждой теме следует изучить и законспектировать рекомендованные источники и научную литературу и на их основании подготовиться к указанным в методических материалах вопросам для

обсуждения.

При проверке задания, оцениваются:

- активное участие в работе;
- уверенное владение материалом;
- умение четко и логично излагать свои мысли;
- умение творчески подходить к решению основных вопросов

темы;

- самостоятельность мышления,
- полное соответствие конспекта установленным требованиям;
- самостоятельная устная речь, полностью раскрывающая суть

проблематики собеседования.

Вопросы для собеседования

1. История химии как часть общей истории человечества и как часть истории культуры.
2. Зарождение и становление истории химии. Роль исторического подхода в химических исследованиях. Взаимосвязь истории и методологии химии.
3. Соотношение курса истории и методологии химии с общей методологией естествознания и философией. Периодизация химии.
4. Источники знаний о химических знаниях древнего человека. Происхождение термина "химия". Многозначность этого понятия.
5. Определение химии как науки. Различие между химией и физикой. Соотношение химии и других разделов естествознания.
6. Системы базисных индивидов в химии и других естественных науках.
7. Основные разделы химии (подразделение по объектам, явлениям, методам).
8. Многообразие атомно-молекулярных систем, рассматриваемых в химии. Малые и большие молекулы, полимеры, топологические молекулы, молекулярные агломераты, кластеры, супрамолекулы, сложные надмолекулярные образования. Газы, конденсированные фазы, растворы. Двумерные (поверхностные) системы. Дисперсные системы.
9. Особенности современной химии. Применение сложных физических методов и компьютеров.

10. Компьютерное моделирование. Доминирующая роль структурных представлений, использование классической и квантовой механики.
11. Приоритет биохимии и экологических проблем. Современный уровень аналитической химии.
12. Фундаментальные понятия химии и их эволюция. Атом. Элемент. Химическая связь. Структура. Молекула. Химическое соединение. Химическое вещество. Фаза. Химическая реакция. Фазовый переход.
13. История развития представлений об атомах и молекулах.
14. Понятие структуры в химии. Эволюция структурных представлений.
15. Закон постоянства состава и структуры как основной закон химии. Дальтонида и бертоллиды.
16. Дедукция и индукция в науке. Понятия и законы. Фундаментальные законы и эмпирические обобщения. Эмпирический характер химии.
17. Эксперимент и теория в химии. Роль модельных представлений. Взаимосвязь модели и метода. Особенности химического мышления.
18. Природа химических понятий. Их фундаментальность и эмпиричность.
19. Классификация физических методов исследования в химии.
20. Методологические основы экспериментальных исследований в современной химии.
21. Химия в Древнем мире, в Средние века и в эпоху Возрождения
22. Химические знания и ремесла в первобытном обществе и в Древнем мире. Общий уровень развития прикладной химии древних цивилизаций.
23. Натурфилософы Древнего мира. Эволюция химии в древнейшие времена
24. Античная натурфилософия. Античная атомистика. Учение об элементах.
25. Алхимический период в истории химии. Зарождение алхимии. Греко-египетская алхимия. Арабская алхимия. Средневековая алхимия Европы. Основные особенности алхимического периода.
26. Иатрохимия и техническая химия в XVI в. Развитие металлургии и химических производств.
27. Возрождение атомистики. Работы Бойля. Теория флогистона.
28. Развитие методов аналитической химии. Открытие газов. Открытие кислорода, азота, хлора и других элементов (Шееле, Пристли, Кавендиш). Пневматическая химия. Кислородная теория строения вещества.
29. Работы Ломоносова, его роль в развитии российской науки.
30. Химическая революция. Работы Лавуазье. Реформа химии.
31. Основные достижения химии XIX в. (общая характеристика).
32. Закон постоянства состава. Полемика Бертолле и Пруста.

33. Возникновение химической атомистики. Работы Дальтона, Берцелиуса, Авогадро.
34. Развитие электрохимии. Работы Дэви и Фарадея.
35. Органическая химия в первой половине XIX в. Опровержение витализма. Работы Либиха, Вёлера, Кольбе, Бертло.
36. Теоретические представления в органической химии в начале XIX в. (теория радикалов, теория типов).
37. Классическая теория химического строения и ее развитие. Работы Кекуле, Купера, Бутлерова.
38. Возникновение стереохимии (Вант-Гофф, Ле Бель). Координационная теория Вернера.
39. Успехи экспериментальной органической химии в середине (Дюма, Зинин, Вюрц) и во второй половине XIX в. (Гофман, Байер, Фишер). Развитие стереохимических представлений.
40. Возникновение и развитие промышленной органической химии.
41. Возникновение термохимии, химической термодинамики, химической кинетики. Работы Гиббса.
42. Основы теории растворов (Вант-Гофф, Аррениус). Электрохимические исследования Нернста.
43. Периодический закон и таблица элементов Менделеева. Предшественники Менделеева. Последующее развитие периодической таблицы.
44. Прогресс прикладной неорганической химии (фотография, конвертор Бессемера, легирование стали, производство алюминия) и аналитической химии.
45. Возникновение радиохимии (Кюри-Склодовская). Создание планетарной модели атома (Резерфорд, Бор). Дальнейшее развитие радиохимии.
46. Теория химической связи (Льюис, Коссель, Полинг, Малликен).
47. Развитие квантовой химии во второй половине XX в. Исследование распределений электронной плотности.
48. Успехи органического синтеза (Зелинский, Гриньяр, Вудворд, Кори, Ола).
49. Возникновение и развитие химии высокомолекулярных соединений.
50. Основные направления развития биоорганической химии в XX в.
51. Исследования низкомолекулярных природных соединений и витаминов. Развитие медицинской химии.
52. Изучение фотосинтеза. Исследования в области биоэнергетики.
53. Изучение структуры белка. Развитие химической энзимологии.
54. Возникновение молекулярной биологии. Изучение структуры и функций нуклеиновых кислот. Расшифровка генетического кода.
55. Развитие химической термодинамики в XX в. (Нернст, Планк, Онсагер, Пригожин).

56. Работы по химической кинетике, теории цепных реакций, изучение сверхбыстрых реакций. Фотохимия.
57. Основные этапы исследования каталитических реакций.
58. Возникновение и развитие коллоидной химии. Исследование поверхностных явлений (Ленгмюр).
59. Прогресс физических методов исследования (спектроскопия ЯМР и ЭПР, инфракрасная спектроскопия, рентгеноструктурный анализ, масс-спектрометрия, лазерная химия, хроматография и другие методы).
60. Возникновение и развитие супрамолекулярной химии и нанохимии. Химическое материаловедение.
61. Альфред Нобель и Нобелевские премии.
62. Успехи химии лекарств. Комбинаторная химия. Достижения аналитической химии. Химическая экология. Современная химическая технология и ее теоретические основы.
63. Исторический обзор развития химии в России.
64. Общая характеристика основных периодов развития и становления химической науки. Химические научные школы в России.
65. Взаимодействие химии с другими науками в их историческом развитии. Социальный заказ и развитие химических технологий и химической науки.

Литература:

Основная литература:

1. Миттова И. Я., Самойлов А. М. История химии с древнейших времен до конца XX века: Учебное пособие. В 2 Т.-Долгопродный: Издательский дом «Интеллект», 2010. - 416 с.

Дополнительная литература:

1. Волков В.А., Вонский Е.В., Кузнецова Г.И. Выдающиеся химики мира. М.: Высш. шк., 1991. - 656 с.
2. А.Азимов. Краткая история химии. Развитие идей и представлений в химии. М.: Мир, 1983. - 187 с. Новое издание: СПб, Амфора, 2000. - 272 с.
3. Фигуровский Н.А. Очерк общей истории химии. От древнейших времен до начала XIX в. М.: Наука, 1969. - 455 с.
4. Фигуровский Н.А. Очерк общей истории химии. Развитие классической химии в XIX столетии. М.: Наука, 1979. - 477 с.
5. Соловьев Ю.И. История химии (Развитие химии с древнейших времен до конца XIX в.). М.: Просвещение, 1983.- 230с.
6. Соловьев Ю.И., Трифонов Д.Н., Шамин А.Н. История химии (Развитие основных направлений современной химии). М.: Просвещение, 1984. - 335 с.
7. Шамин А.Н. История биологической химии. Формирование биохимии. М.: Наука, 1983. - 262 с.
8. Зоркий П.М. Критический взгляд на основные понятия химии. Российский хим. журнал, 1996. -Т. 40, N3, С.5–25.

9. Зоркий П.М. Структурные аспекты современной химии. Координационная химия, 1995. Т. 21, N4, С. 281–289.

10. Зоркий П.М. Структурная химия на рубеже веков. Российский хим. журнал, 2001. Т. 45, N2, С. 3–10.

Интернет-ресурсы:

1. <http://ru.wikipedia.org> - электронная энциклопедия.
 2. <http://www.koob.ru> – электронная библиотека.
 3. <http://www.iqlib.ru> – Электронно-библиотечная система.
 4. <http://studentam.net> – электронная библиотека учебников.
- www.dissercat.ru – электронная библиотека диссертационных работ.

Программное обеспечение:

Специализированное программное обеспечение не требуется