

Лавуазье: революция в химии

Центральная проблема химии XVIII в. - проблема горения. Вопрос состоял в следующем: что случается с горючими веществами, когда они сгорают в воздухе? Для объяснения процессов горения немецкими химиками И. Бехером и его учеником Г. Э. Шталем была предложена теория флогистона. Флогистон - это некоторая невесомая субстанция, которую содержат все горючие тела и которую они утрачивают при горении. Тела, содержащие большое количество флогистона, горят хорошо; тела, которые не загораются, являются дефлогистированными. Эта теория позволяла объяснять многие химические процессы и предсказывать новые химические явления. В течение почти всего XVIII в. она прочно удерживала свои позиции, пока французский химик А. Л. Лавуазье в конце XVIII в. не разработал кислородную теорию горения.

Лавуазье показал, что все явления в химии, прежде считавшиеся хаотическими, могут быть систематизированы и сведены в закон сочетания элементов, старых и новых. К уже установленному до него списку элементов он добавил новые - кислород, который вместе с водородом входит в состав воды, а также и другой компонент воздуха - азот. В соответствии с новой системой химические соединения делились в основном на три категории: кислоты, основания, соли. Лавуазье рационализировал химию и объяснил причину большого разнообразия химических явлений: она заключается в различии химических элементов и их соединений.

Победа атомно-молекулярного учения

Следующий важный шаг в развитии научной химии был сделан Дж. Дальтоном, ткачом и школьным учителем из Манчестера. Изучая химический состав газов, он исследовал весовые количества кислорода, приходящиеся на одно и то же весовое количество вещества в различных по количественному составу окислах, и установил кратность этих количеств. Например, в пяти окислах азота количество кислорода относится на одно и то же весовое количество азота как 1 : 2 : 3 : 4 : 5. Так был открыт закон кратных отношений.

Дальтон правильно объяснил этот закон атомным строением вещества и способностью атомов одного вещества соединяться с различным количеством атомов другого вещества. При этом он ввел в химию понятие атомного веса.

И, тем не менее, в начале XIX в. атомно-молекулярное учение в химии с трудом пробивало себе дорогу. Понадобилось еще полстолетия для его окончательной победы. На этом пути был сформулирован ряд количественных законов, которые получали объяснение с позиций атомно-молекулярных представлений. Для экспериментального обоснования атомистики и ее внедрения в химию много усилий приложил Й.Я. Берцелиус. Окончательную победу атомно-молекулярное учение одержало на 1-м Международном конгрессе химиков.

В 1850-1870-е гг. на основе учения о валентности химической связи была разработана теория химического строения, которая обусловила огромный успех органического синтеза и возникновение новых отраслей химической промышленности, а в теоретическом плане открыла путь теории пространственного строения органических соединений - стереохимии.

Во второй половине XIX в. складываются физическая химия, химическая кинетика - учение о скоростях химических реакций, теория электролитической диссоциации, химическая термодинамика. Таким образом, в химии XIX в. сложился новый общий теоретический подход - определение свойств химических веществ в зависимости не только от состава, но и от структуры.

Развитие атомно-молекулярного учения привело к идее о сложном строении не только молекулы, но и атома. В начале XIX в. эту мысль высказал английский ученый У. Праут на основе результатов измерений, показывавших, что атомные веса элементов кратны атомному весу водорода. Праут предложил гипотезу, согласно которой атомы всех элементов состоят из атомов водорода. Новый толчок для развития идеи о сложном строении атома дало великое открытие Д. И. Менделеевым периодической системы элементов, которая наталкивала на мысль о том, что атомы не являются неделимыми, что они обладают структурой и их нельзя считать первичными материальными образованиями.

Зарождение современной химии и ее проблемы в 21 веке

Конец средних веков отмечен постепенным отходом от оккультизма, спадом интереса к алхимии и распространением механистического взгляда на устройство природы.

Ятрохимия. Совершенно иных взглядов на цели алхимии придерживался Парацельс. Под таким выбранным им самим именем вошел в историю швейцарский врач Филипп фон Гогенгейм. Парацельс, как и Авиценна, считал, что основная задача алхимии – не поиски способов получения золота, а изготовление лекарственных средств. Он заимствовал из алхимической традиции учение о том, что существуют три основные части материи – ртуть, сера, соль, которым соответствуют свойства летучести, горючести и твердости. Эти три элемента составляют основу макрокосма и связаны с микрокосмом, образованным духом, душой и телом. Переходя к определению причин болезней, Парацельс утверждал, что лихорадка и чума происходят от избытка в организме серы, при избытке ртути наступает паралич и т.д. Принцип, которого придерживались все ятрохимики, состоял в том, что медицина есть дело химии, и все зависит от способности врача выделять чистые начала из нечистых субстанций. В рамках этой схемы все функции организма сводились к химическим процессам, и задача алхимика заключалась в нахождении и приготовлении химических веществ для медицинских нужд. Основными представителями ятрохимического направления были Ян Гельмонт, по профессии врач; Франциск Сильвий, пользовавшийся как медик большой славой и устранивший из ятрохимического учения «духовные» начала; Андреас Либавий, врач из Ротенбурга.

Их исследования во многом способствовали формированию химии как самостоятельной науки.

Механистическая философия. С уменьшением влияния ятрохимии натурфилософы вновь обратились к учениям древних о природе. На первый план в 17 в. вышли атомистические воззрения. Одним из виднейших ученых – авторов корпускулярной теории – был философ и математик Рене Декарт. Свои взгляды он изложил в 1637 в сочинении Рассуждение о методе. Декарт полагал, что все тела «состоят из многочисленных мелких частиц различной формы и размеров, которые не настолько точно прилегают друг к другу, чтобы вокруг них не оставалось промежутков; эти промежутки не пустые, а наполнены... разреженной материей». Свои «маленькие частички» Декарт не считал атомами, т.е. неделимыми; он стоял на точке зрения бесконечной делимости материи и отрицал существование пустоты. Одним из виднейших противников Декарта был французский физик и философ Пьер Гассенди. Атомистика Гассенди была по существу пересказом учения Эпикура, однако, в отличие от последнего, Гассенди признавал сотворение атомов Богом; он считал, что Бог создал определенное число неделимых и непроницаемых атомов, из которых и состоят все тела; между атомами должна быть абсолютная пустота.

В развитии химии 17 в. особая роль принадлежит ирландскому ученому Роберту Бойлю. Бойль не принимал утверждения древних философов, считавших, что элементы мироздания можно установить умозрительно; это и нашло отражение в названии его книги Химик-скептик. Будучи сторонником экспериментального подхода к определению химических элементов, он не знал о существовании реальных элементов, хотя один из них – фосфор – едва не открыл сам. Обычно Бойлю приписывают заслугу введения в химию термина «анализ». В своих опытах по качественному анализу он применял различные индикаторы, ввел понятие химического сродства. Основываясь на трудах Галилео Галилея Эванджелиста Торричелли, а также Отто Герике, демонстрировавшего в 1654 «магдебургские полушария», Бойль описал сконструированный им воздушный насос и опыты по определению упругости воздуха при помощи U-образной трубки. В результате этих опытов был сформулирован известный закон об обратной пропорциональности объема и давления воздуха. В 1668 Бойль стал деятельным членом только что организованного Лондонского королевского общества, а в 1680 был избран его президентом.

Биохимия. Эта научная дисциплина, занимающаяся изучением химических свойств биологических веществ, сначала была одним из разделов органической химии. В самостоятельную область она выделилась в последнее десятилетие 19 в. в результате исследований химических свойств веществ растительного и животного происхождения. Одним из первых биохимиков был немецкий ученый Эмиль Фишер. Он синтезировал такие вещества, как кофеин, фенobarбитал, глюкоза, многие углеводороды, внес большой вклад в науку о ферментах – белковых катализаторах, впервые выделенных в 1878. Формированию биохимии как науки способствовало создание новых аналитических методов.

В 1923 шведский химик Теодор Сведберг сконструировал ультрацентрифугу и разработал седиментационный метод определения молекулярной массы макромолекул, главным образом белков. Ассистент Сведберга Арне Тизелиус в том же году создал метод электрофореза – более совершенный метод разделения гигантских молекул, основанный на различии в скорости миграции заряженных молекул в электрическом поле. В начале 20 в. русский химик Михаил Семенович Цвет описал метод разделения растительных пигментов при прохождении их смеси через трубку, заполненную адсорбентом. Метод был назван хроматографией.

В 1944 английские химики Арчер Мартини Ричард Синг предложили новый вариант метода: они заменили трубку с адсорбентом на фильтровальную бумагу. Так появилась бумажная хроматография – один из самых распространенных в химии, биологии и медицине аналитических методов, с помощью которого в конце 1940-х – начале 1950-х годов удалось проанализировать смеси аминокислот, получающиеся при расщеплении разных белков, и определить состав белков. В результате кропотливых исследований был установлен порядок расположения аминокислот в молекуле инсулина, а к 1964 этот белок удалось синтезировать. Сейчас методами биохимического синтеза получают многие гормоны, лекарственные средства, витамины.

Квантовая химия. Для того, чтобы объяснить устойчивость атома, Нильс Бор соединил в своей модели классические и квантовые представления о движении электрона. Однако искусственность такого соединения была очевидна с самого начала. Развитие квантовой теории привело к изменению классических представлений о структуре материи, движении, причинности, пространстве, времени и т.д., что способствовало коренному преобразованию картины мира.

В конце 20-х – начале 30-х годов XX века на основе квантовой теории формируются принципиально новые представления о строении атома и природе химической связи.

После создания Альбертом Эйнштейном фотонной теории света (1905) и выведения им статистических законов электронных переходов в атоме (1917) в физике обостряется проблема волна-частица.

Если в XVIII-XIX веках имелись расхождения между различными учеными, которые для объяснения одних и тех же явлений в оптике привлекали либо волновую, либо корпускулярную теорию, то теперь противоречие приобрело принципиальный характер: одни явления интерпретировались с волновых позиций, а другие – с корпускулярных. Разрешение этого противоречия предложил в 1924 г.

французский физик Луи Виктор Пьер Раймон де Бройль, приписавший волновые свойства частице.

Исходя из идеи де Бройля о волнах материи, немецкий физик Эрвин Шрёдингер в 1926 г. вывел основное уравнение т.н. волновой механики, содержащее волновую функцию и позволяющее определить возможные состояния квантовой системы и их изменение во времени. Шредингер дал общее правило преобразования классических уравнений в волновые. В рамках волновой механики атом можно было представить в виде ядра, окруженного стационарной волной материи. Волновая функция определяла плотность вероятности нахождения электрона в данной точке.

В том же 1926 г. другой немецкий физик Вернер Гейзенберг разрабатывает свой вариант квантовой теории атома в виде матричной механики, отталкиваясь при этом от сформулированного Бором принципа соответствия.

Согласно принципу соответствия, законы квантовой физики должны переходить в классические законы, когда квантовая дискретность стремится к нулю при увеличении квантового числа. В более общем виде принцип соответствия можно сформулировать следующим образом: новая теория, которая претендует на более широкую область применимости по сравнению со старой, должна включать в себя последнюю как частный случай. Квантовая механика Гейзенберга позволяла объяснить существование стационарных квантованных энергетических состояний и рассчитать энергетические уровни различных систем.

Фридрих Хунд, Роберт Сандерсон Малликен и Джон Эдвард Леннард-Джонс в 1929 г. создают основы метода молекулярных орбиталей. В основу ММО заложено представление о полной потере индивидуальности атомов, соединившихся в молекулу. Молекула, таким образом, состоит не из атомов, а представляет собой новую систему, образованную несколькими атомными ядрами и движущимися в их поле электронами. Хундом создаётся также современная классификация химических связей; в 1931 г. он приходит к выводу о существовании двух основных типов химических связей – простой, или σ -связи, и π -связи. Эрих Хюккель распространяет метод МО на органические соединения, сформулировав в 1931 г. правило ароматической стабильности ($4n+2$), устанавливающее принадлежность вещества к ароматическому ряду.

Таким образом, в квантовой химии сразу выделяются два различных подхода к пониманию химической связи: метод молекулярных орбиталей и метод валентных связей.

Благодаря квантовой механике к 30-м годам XX века в основном был выяснен способ образования связи между атомами. Кроме того, в рамках квантово-механического подхода получило корректную физическую интерпретацию менделеевское учение о периодичности.

Вероятно, наиболее важным этапом в развитии современной химии было создание различных исследовательских центров, занимавшихся, помимо фундаментальных, также прикладными исследованиями.

В начале 20 в. ряд промышленных корпораций создали первые промышленные исследовательские лаборатории. В США была основана химическая лаборатория «Дюпон», лаборатория фирмы «Белл». После открытия и синтеза в 1940-х годах пенициллина, а затем и других антибиотиков появились крупные фармацевтические фирмы, в которых работали профессиональные химики. Большое прикладное значение имели работы в области химии высокомолекулярных соединений.

Одним из ее основоположников был немецкий химик Герман Штаудингер, разработавший теорию строения полимеров. Интенсивные поиски способов получения линейных полимеров привели в 1953 к синтезу полиэтилена, а затем других полимеров с заданными свойствами. Сегодня производство полимеров – крупнейшая отрасль химической промышленности.

Не все достижения химии оказались благом для человека. При производстве красок, мыла, текстиля использовали соляную кислоту и серу, представлявшие большую опасность для окружающей среды. В 21 в. производство многих органических и неорганических материалов увеличится за счет вторичной переработки использованных веществ, а также за счет переработки химических отходов, которые представляют опасность для здоровья человека и окружающей среды.

Заключение

К середине 30-х годов XX века химическая теория приобретает вполне современный вид. Хотя основные концепции химии в дальнейшем стремительно развивались, принципиальных изменений в теории больше не происходило.

Установление делимости атома, квантовой природы излучения, создание теории относительности и квантовой механики представляли собой революционный переворот в понимании окружающей человека физических явлений. Этот переворот коснулся прежде всего микро- и мегамира, что к химии в классическом смысле, казалось бы, не имеет прямого отношения. Однако в этом и заключается одна из особенностей химии XX века: для понимания причин, которыми обусловлены фундаментальные химические законы, потребовалось выйти за пределы предмета химии. Ныне теоретическая химия в значительной степени представляет собой физику, "адаптированную" для решения химических задач. В значительной степени именно достижения физики сделали возможными огромные успехи теоретической и прикладной химии в XX столетии.

Еще одной особенностью химии в XX веке стало появление большого числа новых аналитических методов, прежде всего физических и физико-химических. Широкое распространение получили рентгеновская, электронная и инфракрасная спектроскопия, магнетохимия и масс-спектрометрия, спектроскопия, рентгеноструктурный анализ и т.п.; список используемых методов чрезвычайно обширен. Новые данные, полученные с помощью физико-химических методов, заставили пересмотреть целый ряд фундаментальных понятий и представлений химии. Сегодня ни одно химическое исследование не обходится без привлечения физических методов, которые позволяют определять состав исследуемых объектов, устанавливать мельчайшие детали строения молекул, отслеживать протекание сложнейших химических процессов.

Для современной химии также стало очень характерным всё более тесное взаимодействие с другими естественными науками. Физическая и биологическая химия стали важнейшими разделами химии наряду с классическими – неорганической, органической и аналитической. Пожалуй, именно биохимия со второй половины XX столетия занимает лидирующее положение в естествознании.