

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ХИМИЧЕСКИХ НАУК

© 2007 г.

Г.А. Каржина

Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского

karzhina_ga@mail.ru*Поступила в редакцию 8.06.2007*

Обобщаются особенности развития химических знаний под влиянием новых социальных тенденций, усиливающих взаимодействие фундаментальных и прикладных факторов, анализируется значимость категорий индивидуального вещества и абсолютно чистого вещества в контексте истории химии и развития представлений о высокочистых веществах.

Наука последних десятилетий формируется под влиянием таких мощных факторов, как энергетический кризис, глобализация, изменение климата, истощение ресурсов.

Химия, будучи неотъемлемой частью наук о природе, всегда ориентировалась на нужды общества и экономики. Развитие автомобильного передвижения и авиации в начале XX века повлияли на исследования топлива. Выдающийся русский и американский химик В.Н. Ипатьев и его ученики в конце 20-х годов изучили процесс обогащения нефтяного сырья ароматическими углеводородами (ароматизация) и применили его для получения из нефти бензола, толуола и их производных, для облагораживания моторного топлива, повышения его антидетонационных свойств [1].

Отечественные ученые реагируют на реальные изменения структуры топливно-энергетической базы России, подвергая аргументированному сомнению тезис: «XIX в. был веком угля, XX в. – веком нефти, XXI в. будет веком природного газа» [2]. Аналитики госдепартамента США считают, что миру угрожают два энергетических кризиса. Первый является результатом истощения ресурсов. Второй состоит в изменении климата [3]. Непрерывающийся рост населения в мире потребует в течение следующих пятидесяти лет произвести больше продуктов питания, кормов и волокон, чем было произведено за всю историю человечества, на уменьшающихся площадях земель [4]. Такие прогнозы, вероятно, подразумевают жесткие стратегические модели развития цивилизации и предъявляют особые требования к науке. Они, по-видимому, не оставляют альтернативы уже известным достижениям биотехнологий и генной инженерии. Такие факторы проявляют себя и в развитии химии.

В то же время наука, будучи самостоятельной подсистемой общества, направленной на производство нового знания,

имеет некоторые фундаментальные ориентиры, подразумевающие критерии ее познавательного статуса, проявляющиеся во взаимодействии фундаментальных и прикладных аспектов.

Современная химия представляет собой сложную, разветвленную систему знаний и деятельности. С одной стороны, химия существенным образом определяет проблемы продовольствия, одежды, здравоохранения, энергетики, контроль и охрану окружающей среды, химия обеспечивает субстанциальные метаморфозы цивилизации, связанные с разнообразием новых материалов и обновленными качествами старых, которые однозначно пополняют знакомые «блага цивилизации». С другой – вносит свой вклад в человеческие знания универсального, мировоззренческого характера. Так, например, ничто не занимает людей больше, чем вопросы о возникновении и сущности жизни на Земле и о том, как эту жизнь сохранить. Вся наша планета и биосфера подобны огромной химической машине, в которой целесообразно в несоизмеримых с возможностями человека масштабах синтезируются и разлагаются вещества. Не случайно одним из основных понятий в учении В.И. Вернадского стало понятие «живого вещества». Биологические процессы – рождение, смерть, старение, мутации – современная химия эффективно исследует на молекулярном уровне, взаимодействуя с физиологией и медициной, создавая тем самым базу для рационального конструирования лекарств и лечения заболеваний. В современной химии, как ни в одной отрасли естествознания, особенно ярко проявляется процесс взаимодействия и взаимопроникновения фундаментального и прикладного знания, что позволяет анализировать новые аспекты гносеологических моделей.

В 70–80-е XX в. в научных сообществах нашей страны охотно рассуждали о концепциях

развития научного знания, моделях роста науки, факторах научного творчества. Кумулятивная и некумулятивная модели развития, как и определения науки в целом, преимущественно ориентированы на фундаментальную науку. Тогда же много дискутировали о философско-методологических проблемах химии, причем известные авторы, например [5], констатировали затишье по сравнению с дискуссиями физиков.

Несмотря на меньшую активность на методологическом фронте химии, если сравнивать ситуацию с физиками, биологами и математиками, такие ученые, как В. Пармон, П.М. Зоркий и др., много пишут о перспективах развития химических наук, о стратегических задачах химического познания и справедливо заключают, что «химия в истекшем столетии не только заняла центральное место в естествознании, но и создала новую базу материальной культуры современной цивилизации», отмечая то новое качество, в котором предстает современная химия, выступая фундаментальной наукой о веществе [6, 7].

Существуют ряд интересных проблем, позволяющих проследить взаимодействие фундаментального и прикладного в химии. Среди них особо стоит проблема индивидуальности вещества и, осознанная во взаимосвязи с ней, – проблема чистоты вещества.

Еще в XIX веке немецкий ученый Э. Мейер при определении химии как науки выдвинул на первый план проблему состава тел: «Химия в настоящее время (за последние два века определяется) как наука о составе тел. Соответственно этому ее главная задача заключается в определении составных частей, из которых состоят окружающие нас тела, и, главным образом, в нахождении средств и путей, ведущих к получению элементов или новых химических соединений из данных составных частей. Рядом с этими задачами анализа и синтеза химия имеет своей целью установление законов, соответственно которым происходит химическое соединение веществ» [8].

В работах по истории химии подчеркивается древность химических знаний, их связь с зачатками первых производств: получения металлов, стекла, пороха. В протонаучный период развития химии предопределилась особенность, связанная с разделением знаний на две мало взаимодействующие области – знания ремесленников и алхимия. Она углубила

противоречие «теории» и «практики» в различных его формах.

Традиционная оценка периода алхимии в истории науки скорее отрицательная, например, Н.А. Фигуровский отмечал, выражая устоявшееся мнение: «Реальным прогрессом в средние века химия обязана в значительной степени ремесленному производству, чем алхимии» [9, 22]. Советские и западные философы и ученые были склонны рассматривать алхимию как тупиковую часть развития мистических знаний древности. «В более поздних анналах эмпирической науки, начиная с XVIII в., не нашлось места для описания оккультных опытов одержимых мечтателей, которые в основном тщились превратить неблагородные металлы в чистое золото» [10]. Сегодня появляются материалы, реабилитирующие влияние алхимии и алхимиков. «Эмпиризм был одной из важнейших отличительных черт алхимии, – говорит Лоренс Принсип, специалист по истории науки из Университета Джона Хопкинса, химик по образованию. – Это дело не для белоручек, и алхимики сформировали некоторые ранние понятия о веществе» [цит. по: 10].

Становление химии как науки прошло через алхимическую культуру, что отразилось на идеалах и нормах химического познания, своеобразного «химического способа постижения истины», ставящего на первое место непосредственное «общение» с веществом. В период алхимии это «общение» не было экспериментом, а представляло особый ритуал, особую оккультную форму. За центральной идеей алхимиков – трансмутации металлов – стояло интуитивное ощущение глубинной связи веществ, опирающееся на древние знания о единстве мира и его первоначалах.

Алхимическая идея трансмутации предопределила потребность в концепции индивидуального вещества. Р. Бойль вводит понятие химического элемента, которое становится научной эмпирической формой первоосновы вещества. Идея первоначал мироздания нашла свое научное воплощение, и это было заслугой химиков.

Понятие химического элемента стало центральным идеальным объектом химической науки, его смысл углублялся, конкретизировался. Р. Бойль связывал понятие химического элемента с пределом разложимости вещества на составные части, что определило основные формы химического

эксперимента – анализ и синтез. Качественный характер представлений о химических элементах позволяет объяснить тот факт, что первая теория в химии – теория флогистона – удовлетворяла исследователей в течение всего XVIII века, хотя в основе ее лежало ложное утверждение о том, что во всех телах содержится особое начало горючести. Эта теория впервые дала общее, хотя и ошибочное объяснение широкому кругу химических превращений, связанных с процессами обжига металлов и горения.

Американский историк науки М. Кросланд отмечает, что вплоть до XVIII века химическая наука несла на себе печать алхимии, то есть лженауки в расхожем представлении, поэтому усилия химиков и историков химии долгое время были направлены на доказательство подлинно научного статуса своей дисциплины [11]. Автор подвергает сомнению ведущую роль Р. Бойля в становлении химической науки и выдвигает на его место А. Лавуазье, отвергшего флогистон и выдвинувшего кислородную теорию горения. Последнее рассматривается как «революция Лавуазье».

Из качественной теории Лавуазье вырастает количественное атомно-молекулярное учение Дж. Дальтона, который характеризует элементы через их атомный вес. В 1803 году Дальтон сформулировал знаменитый закон кратных соотношений, а Ж. Пруст – закон постоянства состава. Работы этих ученых стали фундаментальной основой химической науки.

Немецкий историк естествознания К. Мейнел также обращает внимание на то, что уже в XVII–XVIII веках активно дискутировался вопрос о научном статусе химии. Например, известный в то время химик Д. Сеннерт отрицал за своей профессией атрибут научности, считая свое занятие ремеслом составления фармацевтических препаратов, а его теоретической основой – физику [12]. Великий немецкий философ И. Кант разделял подобные представления. Между тем химия XVIII века уже имела собственную теоретическую базу, специфические исследовательские программы, развивающие понятие химического элемента, теорию химического сродства.

В культуре европейского просвещения естественным наукам отводилась особая элитарная роль, и представление о связи химии с мастерской или аптекой не способствовало, вероятно, поддержке ее социального престижа. С развитием химии и естествознания в целом противопоставление фундаментального и

прикладного знания начинает преодолеваться. Д. Аламбер и Д. Дидро стали выразителями новых идей прогресса, осудив «деление искусств на свободные и технические». Принято считать, что возрастание престижа химической науки произошло за счет ее «альянса с экономикой» [12]. Именно химическая промышленность начала особенно быстро развиваться в условиях капитализма.

Уже в XVIII веке проявилось некоторое оппозиционное соотношение между физикой и химией. Один из основателей физической химии, лауреат Нобелевской премии по химии Я. Вант-Гофф, призывает «к умеренности пользоваться небеспорочной физической чернильницей» [13, с. 449].

В XX веке ситуация усложняется еще более. В развитии концептуального аппарата химии решающую роль сыграли открытия физики: теория химической связи, объяснения периодического закона, основанные на квантовой механике.

Выдающийся химик Б.Н. Меншуткин утверждал, что «химия сделалась наукой только тогда, когда она стала пользоваться приспособлениями физики» [14, с. 313].

Одна из первых книг по физической химии В. Нерста вышла в 1893 году под названием «Теоретическая химия на основе правила Авогадро и термодинамики». Его ученик А. Эйкен в 1930 году третьему изданию учебника, посвященного новой области знаний на границе физики и химии, дает название «Учебник химической физики». Итальянский химик М. Джуа заключает: «Физика обновляет химию и отнимает у нее атом» [15].

Физическая химия использует теоретические расчеты в решении проблем строения веществ и изучения механизмов химических реакций, основанные на методах теоретической физики. Наряду с этим широкое применение находят и физические экспериментальные методы – рентгеноструктурный анализ, дифракция электронов, спектроскопия, резонансные методы и др. Означает ли это, что у химии отсутствует собственная теоретическая и экспериментальная база?

«Существует немало авторитетных свидетелей как из среды философов, так и из числа естествоиспытателей, готовых поклясться, что химия как наука в принципе не существует, что под термином «химия» скрывается смесь точной элегантно-физической теории и грязной, вульгарной кухни... Поскольку теоретическая сторона химии исчерпывается физикой, то от химии

остается лишь практическое экспериментирование, но кто же решится считать наукой область деятельности, лишенную своей собственной теории?» [5, с. 59].

Одна из основных теорий современной химии – теория абсолютных скоростей реакций Г. Эйринга, в которой вводится понятие активированного комплекса – переходного состояния. С одной стороны, расчеты переходных состояний используют уравнение Шредингера и аппарат статистической механики в приближении одного из вариантов теории самосогласованного поля, что позволяет вывести формулы для расчета констант скоростей реакций. В то же время при переходе к системам с большим числом взаимодействующих частиц – типичных для химии – обозначенный выше метод приводит к решению системы бесконечного числа «зацепляющихся уравнений», что подкрепляет точку зрения о невозможности выразить специфику химизма теоретическими средствами физики. Для сложных молекулярных систем и их самоорганизации нужен другой теоретический подход, который сегодня развивает синергетика.

В работах П.М. Зоркого обсуждается «основная метаморфоза, которую претерпела химия в XX столетии и которая заключается в том, что из «экспериментальной науки о веществах и их превращениях» она превратилась в систему представлений, методов, знаний и теоретических концепций, направленных на изучение атомно-молекулярных систем (АМС)» [16].

В химии интенсивно появляются новые идеи, на которых основаны такие направления, как космохимия, биохимия, химия высокочистых веществ, супрамолекулярная химия, фемтохимия.

Фундаментальной проблемой естествознания выступает объяснение основных наблюдаемых закономерностей химического и изотопного состава вещества Вселенной. Становится понятным, что земное вещество, доступное традиционной химии, в масштабах Вселенной является достаточно уникальным. В руки ученых сегодня уже попало лунное вещество, марсианское, давно изучаются метеориты, но все же субстанция звезд, межзвездного газа, межгалактической среды является доминирующей во Вселенной, а ее изучение встречает на своем пути достаточные трудности.

Многообразие конкретных форм проявления объекта химии способствует актуализации

одной из центральных проблем всего химического познания – проблемы индивидуальности вещества, с которой связаны характеристики классов химических объектов – элемента, соединения, раствора. Распространяются представления о химическом веществе как о микрогетерогенной среде, и это играет огромную роль в химии материалов, но в то же время неоднозначным и недоопределенным остается принципиальное понятие абсолютно чистого вещества (АЧВ). Определенность свойств как критерий индивидуальности вещества меняется с открытием новых свойств по мере освобождения от примесей. Химия высокочистых веществ изучает, например, зависимость свойств уже от микропримесей.

С проблемой индивидуальности веществ связан закон Ж. Пруста (1806): «Свойства вещества не зависят от его происхождения и предыдущей обработки». Как показали исследования, этот закон соблюдается только для высокочистых веществ.

Впервые связь между степенью чистоты вещества и представлениями об индивидуальном веществе выразил знаменитый физико-химик

В. Оствальд, указав на необходимость различать раствор и чистое вещество [17]. Связь фундаментального понятия индивидуальности вещества и проблем, определяющих его очистку, основательно исследовал бельгийский ученый Ж. Тиммерманс в работе «Понятие индивидуальности химического вещества» (1928 г.). Подразумевая, что индивидуальное вещество – это абсолютно чистое вещество, автор выражает критерии абсолютности прикладным путем: «Вещество признается чистым только тогда, когда оно, будучи последовательно подвергнуто фракционированию по возможности самыми разнообразными способами, остается совершенно гомогенным» [18]. Ученый уже тогда предсказывал возможность появления особой науки о чистых веществах, цель которой – приведение в стройный порядок идей о химической индивидуальности веществ и критическое изложение употребительных методов приготовления чистых тел» [18].

В 1966 году американские ученые сообщили о процессе выделения новой науки, связанной с чистыми веществами, которая призвана обеспечить серьезную базу для технологии их получения [19].

Конкретизация представлений о «чистом веществе» связана с появлением термина

«химические реактивы», подразумевающего первичную стандартизацию ограниченного количества примесей и дальнейшее разделение особо чистых и высокочистых веществ.

В процессе исследования веществ особой чистоты обозначились вопросы фундаментального характера. Наблюдаемая экспериментально зависимость между изменением содержания примесей и изменением свойств вещества (ядерных, электрофизических) позволяла предполагать еще более резкое изменение некоторых свойств с достижением более высоких показателей чистоты, возникали предположения о непредсказуемом изменении свойств вещества с достижением качественно новых показателей чистоты [20]. Наиболее чистые на сегодняшний день вещества содержат число молекул примесей всего на 4–6 порядков ниже, чем молекул основного вещества. Отношение к чистоте веществ как прикладной проблеме меняется, целенаправленно с помощью эксперимента и специальных теоретических моделей изучается примесный состав высокочистых веществ, что позволяет выделять состояния вещества по чистоте на основе поведения группы независимых друг от друга базисных свойств. Активно начинается обсуждаться проблема АЧВ. «Под абсолютно чистым веществом подразумевают такую химически однородную систему, которая состоит или из атомов с одним и тем же атомным номером и массовым числом, или из одинаковых молекул, или из различных молекул (например, ассоциированных) при условии, что они составляют общую фазу и находятся друг с другом в незаторможенном равновесии» [21, с. 15].

Как продолжение приведенного определения, встает вопрос концептуального определения абсолютно чистого вещества, включающего аспекты внутренней структуры вещества как организации частиц определенного вида, что, в свою очередь, затрагивает проблему критериев тождественности таких частиц, как атомы и молекулы. Таким образом, на пути решения прикладных вопросов очистки веществ возникает фундаментальная исследовательская программа понимания природы вещества в целом. Какое количество частиц можно считать веществом, то есть когда у системы одинаковых частиц появляются коллективные свойства? Эту проблему можно рассматривать как проблему макроскопического определения вещества. Она имеет интересную аналогию с древнейшим

вопросом софистов о куче и может быть решена, если за критерий «коллективности» принимать макроскопические свойства вещества, например, температуру плавления. Расчеты методом Монте-Карло показывают, что полуколичественно эту характеристику можно ввести уже для 10 частиц [22, с. 118]. Для расчета большинства известных термодинамических и кинетических свойств с такой же точностью число частиц может быть оценено снизу как величина 1000 частиц. На этом пути можно получить ответ о минимальном количестве частиц для определения АЧВ.

Проблема АЧВ связана также с вопросом о принципиальной возможности существования тождественных частиц. В современном теоретическом естествознании допущение существования тождественных частиц принципиально необходимо для статистической механики и наук, использующих ее аппарат. И, тем не менее, строгих доказательств тождественности или принципиальной индивидуальности частиц нет, и, видимо, нет противоречий в гипотезе, что «каждый электрон имеет свое лицо» [23, с. 62].

Рассмотрение естественно-научного смысла таких понятий, как частица, коллектив частиц, коллектив тождественных частиц, позволяет принять следующее определение АЧВ: «АЧВ – это статистически представительное число локализованных в конечном объеме пространства и времени существования частиц, принципиально неразличимых по определенному условиям их существования набору неизменяющихся микросвойств» [24].

Если применить данное определение, например, по отношению к углероду, существующему в разных аллотропных модификациях, то заложенный в определении алгоритм позволяет различать абсолютно чистый графит и абсолютно чистый углерод, впрочем, как и другие, ставшие известными позднее модификации.

Понятие АЧВ подразумевает два аспекта чистоты – примесную и структурную, причем последняя однозначно недостижима в соответствии с 3-м началом термодинамики.

Можно видеть, как понятие АЧВ и проблемы, с ним связанные, обращены к фундаментальному естествознанию и научной картине мира в целом и выступают элементом рефлексии по отношению к формирующейся теории в химии высокочистых веществ. Они позволяют поэтапно фиксировать взаимодействие проблем и исследований

прикладного и фундаментального характера и предположить, что, как бы ни менялась гносеологическая ситуация под давлением внешних факторов, наука не может не сохранять познавательную самоценность. Не случайно на фоне преобладания управленческого утилитаризма американский физик Д. Хьюбнер приводит аргументы, свидетельствующие о снижении темпов научно-технического прогресса и о выхолащивании научного потенциала цивилизации [25].

Глобальные социальные процессы влияют на критерии значимости научных исследований, представления о целях и задачах научного познания претерпевают существенную трансформацию. Новая когнитивная ситуация меняет динамику взаимодействий фундаментальных и прикладных сторон научного познания.

Было показано, как проблемная и предметная организация знаний и исследований структурируется в процессе формирования нового фундаментального знания вокруг прикладного предмета исследований. То, что принято называть инструментальностью, с помощью специальной техники дает источник новому научному знанию и вместе с тем новым направлениям в технике, усиливающим развитие инструментальности [26, с. 105].

Социальные, информационные, технические, когнитивные факторы науки сплетены в единое целое, что хорошо можно видеть в развитии химии. При этом наука по-прежнему сохраняет свою познавательную и мировоззренческую функции.

Список литературы

1. Соловьев Ю.И. Почему академик В.Н. Ипатьев не стал Нобелевским лауреатом // Вестник РАН. – 1997. – Том 67, № 7. – С. 627–642.
2. Гриценко А.И., Крылов Н.А., Аленин В.В. и др. Нефть и газ в России в XXI веке: прогноз добычи и развития сырьевой базы. / <http://www.geoinform.ru/mrr.files/issues/articles/gri-c3-01.html>
3. Два энергетических кризиса. <http://www.inosmi.ru/translation/235446.html>
4. Кузма Д. Глобальные вызовы и биотехнология / <http://usinfo.state.gov/journals/ites/1005/ijer/hamilton.htm>
5. Жданов Ю.А. Материалистическая диалектика и проблема химической эволюции вещества // Вопросы философии. – 1980. – № 2.
6. Пармон В. XX век глазами химика. Из доклада, сделанного на предновогодней сессии Президиума СО РАН «Основные итоги науки XX столетия и перспективы XXI века» / <http://www-sbras.nsc.ru/HBC/2000/n20-21/menu.html>
7. Зоркий П.М. Структурные аспекты современной химии // Координационная химия. – 1995. – Т. 21, № 4. – С. 281–289.
8. Мейер Э. История химии от древнейших времен до настоящих дней. – СПб., 1899.
9. Фигуровский Н.А. История химии. – М., 1979.
10. Уилфорд Д.Н. Ученые по-новому смотрят на алхимию. / <http://www.inauka.ru/science/> 06 сентября 2006 года.
11. Кросланд М. Химия и революция в химии. // Логика, методология и философия науки. Вып. 1. – М., 1987. – С. 193–205.

12. Мейнел К. Теория или практика? Дискуссия XVIII века о научном статусе химии // Логика, 25. Названы 16 наиболее перспективных направлений развития науки и техники // По

METHODOLOGICAL ASPECTS OF THE DEVELOPMENT OF CHEMICAL SCIENCES

G.A. Karzhina

The effects of new social trends that enhance the interaction of fundamental and applied factors in the development of chemical knowledge are considered. Particular attention is paid to such categories as individuality of substances and purity of substances in the context of the developing perception of high-purity substances.

- методология и философия науки. Вып. 1.– М., 1987. – С. 205–208.
13. Добротин Р.Б., Соловьев Ю.И. Вант-Гофф. – М., 1970.
14. Меншуткин Б.Н. Химия и пути ее развития. – М.-Л., 1937.
15. Джуа М. История химии. – М., 1975.
16. Зоркий П.М. Критический взгляд на основные понятия химии // Российский химический журнал. – 1996. – Т. 40, № 3. – С. 5–25.
17. Оствальд В. Эволюция основных проблем химии. – М., 1899.
18. Тиммерманс Ж. Понятие об индивидуальности вещества. – Л., 1931.
19. Pfann W.J. «Purification of materials» as a branch of science // Ann. N.Y. Acad. Sci. 137 (1). 5. 1966.
20. Розен А.М. Особенности поведения предельно разбавленного раствора вблизи критической точки. – М.: Ротапринт ОИЯИ, 1978.
21. Степин Б.Д и др. Методы получения особо чистых неорганических веществ. – М., 1969.
22. Замалин В.М., Норман Г.Э., Филинов В.С. Метод Монте-Карло в статистической термодинамике. – М., 1977.
23. Гельфер Я.М., Любошиц В.Л., Подгорецкий М.И. Парадокс Гиббса и тождественность частиц в квантовой механике. – М., 1962.
24. Девятых Г.Г., Степанов В.М., Каржина Г.А. Понятие абсолютно чистого вещества // Химия и мировоззрение. – М., 1986. – С. 117–124.
- материалам Newsinfo.ru.
26. Price D. de S. Notes towards a philosophy of science. Dordrecht, 1984.