

РАЗМЫШЛЕНИЯ О СОВРЕМЕННОМ ХИМИЧЕСКОМ ПРАКТИКУМЕ

(на примере химфака МГУ имени М.В. Ломоносова)

Эрлих Г.В.

Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Химия – экспериментальная наука. Несмотря на стремительное внедрение цифровых технологий, подавляющую часть расчётных методов используют для обработки экспериментальных данных, а предсказание свойств веществ *ab initio* и осуществление химических превращений *in silico* по-прежнему остаётся великой мечтой.

В связи с этим обучение навыкам экспериментальной работы занимает важнейшее место в химическом образовании на всех его ступенях. К большой досаде руководителей учебных заведений и, особенно, чиновников органов образования, потому что лабораторные работы существенно увеличивают стоимость образования, например, удельные затраты на химический практикум в британских университетах в 15 раз превышали затраты на аудиторные занятия. Это порождает желание сократить объём лабораторных работ до минимума, в пределе до нуля, что было с успехом реализовано в российских школах в 90-е годы. Ещё более радикальное решение – исключение химии из программы обучения под предлогом ненужности этого предмета (российские реалии) или его невостребованности (этим объясняли закрытие химических факультетов в большинстве британских университетов в последние двадцать лет). К счастью, этот негативный тренд удалось переломить, вернее, его переломила жизнь, потребность в квалифицированных химиках-исследователях и химиках-технологах, в сущности, та же экономика.

Для нас, химиков, вопрос о необходимости практикума в процессе образования даже не стоит, тут мы единодушны: практикум обязателен! Споры начинаются, когда обсуждают содержание практикума. Это один из немногих пунктов, где отсутствует жёсткая регламентация, а педагогическая наука не выработала общепринятых методических рекомендаций (это относится не только к нашей стране, но и к миру в целом). Вопросы содержания и организации практикума переданы, если не сказать спихнуты, в ведение учебных заведений, которые решают их, исходя из собственных финансовых возможностей и внутренней готовности нести это действительно тяжёлое бремя. Более того, зачастую происходит дальнейшая передача полномочий и ответственности на уровень ведущих кафедр, которые организуют практикум по своей дисциплине согласно собственным соображениям, что подчас приводит к разительному контрасту в качестве практикума даже внутри одного учебного заведения.

Один из важнейших вопросов, вокруг которого сломано много копий, состоит в следующем: насколько практикум должен отражать достижения современной науки, технологий и экспериментальной техники? Работодатели постоянно сетуют на то, что приходящие к ним молодые специалисты, свежеспечённые выпускники вузов, слабо ориентируются в реалиях современной науки и особенно технологий и не умеют работать на современном научном и технологическом оборудовании, так что их приходится доучивать и иногда переучивать. Можно ли выправить эту ситуацию?

В этой статье я позволю себе высказать некоторые соображения по содержанию и организации студенческого химического практикума. Сразу подчеркну, что эти соображения имеют частный характер. Во-первых, речь пойдёт о химическом факультете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, которые, и университет, и факультет, занимают особое место в системе российского высшего образования. Особость химфака состоит, в частности, в том, что он отстоял и сохранил специалитет (при том что в нём есть и магистратура), а это, как мы увидим, существенно влияет на содержание

практикума. Во-вторых, говорить мы будем, в основном, о содержании общекурсовых практикумов базовых кафедр – неорганической, аналитической, органической и физической химии, и лишь кратко упомянем о содержании спецпрактикумов для студентов старших курсов. И, в-третьих, это моё частое мнение, основанное на ретроспективном анализе программ практикумов и общении с коллегами и студентами.

Цели практикума

Признавая безоговорочную необходимость практикума в системе высшего химического образования, давайте всё же сформулируем цель практических занятий, это позволит нам оценить, насколько действующие программы обеспечивают достижение этой цели. Тут сразу выявляется большая проблема, потому что цель эта – не одна, их много, а как всегда бывает при множественности целей, их одновременное достижение затруднительно, если вообще возможно. Поэтому приходится расставлять акценты, определять приоритеты и чем-то неизбежно жертвовать.

Итак, цели.

1. Выработка умений и навыков экспериментальной работы. Студент должен научиться работать руками, работать безопасно как для себя, так и для окружающих, он должен освоить различные экспериментальные методики и оборудование, вплоть до сборки простейших приборов, методы обработки результатов эксперимента, научиться организовать своё время (time management).

2. «Овеществление книжного знания». Студент должен почувствовать вещество, осуществить некоторые из химических превращений, о которых рассказывают в лекциях, установить своими руками некоторые закономерности, на собственном опыте убедиться, как теории в химии рождаются из эксперимента. В идеале программа практикума должна быть синхронизирована с программой лекций, подтверждая их утверждения и закрепляя их в голове учащихся. Погружение в реальный мир в ходе выполнения экспериментальных работ приоб-

ретаёт особое значение для сегодняшних студентов с их тягой к виртуальности.

3. Подготовка к будущей самостоятельной исследовательской работе. Она включает умение наблюдать и делать выводы из увиденного, планировать эксперимент и интерпретировать полученные данные, обобщать их, описывать и представлять публично. Это самый сложный и неочевидный пункт, который нужно рассмотреть отдельно, что мы сделаем позже.

4. Профориентация. Об этой цели почему-то стыдливо умалчивают, хотя все кафедры заинтересованы в привлечении студентов, которые будут проходить на ней специализацию. Согласимся, что мотивы выбора студентом той или иной кафедры туманны и толком не изучены, что в них велика внеучная составляющая – наличие денежных выплат по грантам, возможность хорошего распределения или знакомство со старшекурсником, аспирантом или сотрудником, которые не жалеют времени и сил для привлечения и обучения будущего помощника в работе. Но также несомненно, что существенную роль в этом выборе играет впечатление от той или иной области химии, которое сложилось после прохождения соответствующего практикума. Если это впечатление негативное, если студент приходит к выводу, что эта область химии «не его», то он предпочтёт ринуться в неизвестное, руководствуясь перечисленными выше внеучными соображениями.

Пройдёмся по кафедрам

Рассмотрим теперь особенности организации студенческого практикума на основных кафедрах и то, насколько они способствуют достижению указанных выше целей. Напомню, что речь пойдёт об общекурсовом практикуме.

Неорганическая химия

Изучение программы практикума по неорганической химии вызвало ощущение дежавю, я как будто перенёсся в студенческие годы, в начало 1970-х гг. Вполне возможно, что у учёных старшего поколения ощущения сходные, но с переносом в ещё более далекие годы. И

это при том, что неорганическая химия на наших глазах претерпела наиболее сильные изменения за прошедшие годы и вырвалась в лидеры развития химии, явив миру множество впечатляющих открытий.

Вы не найдёте в этом практикуме нестехиометрических соединений с их рекордными магнитными и электрическими (сверхпроводящими) свойствами, наноразмерных материалов с их удивительными механическими и оптическими свойствами и многого другого, «современного». Практикум сконцентрирован исключительно на синтезе неорганических соединений, причём в «классическом» варианте. Но синтез в наше время – это лишь первая часть исследования, по затратам времени и сил он сильно уступает изучению структуры образующихся соединений, их свойств и возможных практических приложений. Ничего этого в программе практикума нет, даже рутинного рентгенофазового анализа, без которого невозможно представить современную неорганическую химию, да и химию вообще. Меняются лишь титульные редакторы учебных пособий по практикуму (В.П. Зломанов, 1984 – Ю.Д. Третьяков, 2004 – А.В. Шевельков, 2017), а суть остается прежней.

Но это лишь первая реакция на программу практикума, после некоторого размышления критиканский запал если не испаряется во все, то значительно ослабевает.

Акцент на синтез предстает вполне разумным и логичным. Синтез – квинтэссенция химии, её самая тонкая, непредсказуемая и, что существенно, опасная составляющая. В практикум по неорганической химии приходят вчерашние школьники, многие из которых имеют минимальный, подчас нулевой опыт экспериментальной работы – тут мы должны сказать «спасибо» реформе школьного образования. Если первейшая цель практикума, как мы определили её выше, состоит в выработке умений и навыков экспериментальной работы, в обучении работы руками, то синтез подходит для этого наилучшим образом, крутить ручки на приборах студенты научатся легко чуть позже.

Можно ли «осовременить» такой практикум? В принципе, можно, но для оценки целесообразности этого давайте обозначим формальные требования, которые предъявляют к задачам практикума.

1. Выполнение задачи должно укладываться в одно занятие. В противном случае при большом количестве учащихся (общекурсовой практикум) неизбежны накладки и неразбериха.

2. Задача должна гарантированно получаться, если учащийся делает всё точно по предлагаемой методике. Профессиональные химики прекрасно знают, что далеко не все методики воспроизводятся с первого раза, что для них требуется, как говорится, набить руку, такие методики категорически неприемлемы в качестве учебных.

3. Задача должна иметь чёткий, легко оцениваемый результат, например, получено столько-то граммов кристаллов такого-то цвета с такой-то температурой плавления.

4. Для выполнения задачи должны использоваться доступные (относительно дешёвые) реагенты и оборудование.

Требуют ли «современные» методы синтеза, например, синтез нестехиометрических оксидов или интерметаллидов, каких-то особых умений? В общем-то, нет, они зачастую даже проще «классических» синтезов. То же можно сказать и о многих синтезах наноразмерных материалов, но они ещё довольно длительны, так как приходится работать с коллоидными системами. Но главная проблема тут возникает с идентификацией полученного вещества, это в равной степени относится и к учебной задаче, и к реальной науке. Необходимо, как минимум, сделать рентгенофазовый анализ, получить фотографии в электронном микроскопе и измерить оптические, электрические или магнитные характеристики. Всё это – отдельные задачи, более уместные в практикуме по физической химии. Студент-первокурсник вообще не может выполнить такие задачи, кто же доверит ему, например, электронный микроскоп. Также трудно представить организацию анализа сотен образцов студентов профессиональным оператором. В результате остается только синтез, в ходе которого студент получает некоторое количество непрезентабельного порошка. И что? Как определить,

что он получил то, что требовалось? Учебная задача лишается чёткого, легко оцениваемого результата, она в значительной степени лишается смысла.

Можно, конечно, сказать, что и в предлагаемых на практикуме задачах немного смысла. Никто сейчас в лабораториях не получает, например, кислород химическим путем, его берут из баллона, или тионилхлорид, его покупают в Sigma-Aldrich'e. Но с другой стороны, программа практикума по неорганической химии составлена так, что студенты могут «пощупать» значительную часть элементов Периодической таблицы и их основные соединения, без этого «чувства вещества» работа в химии невозможна. Задачи, выполняемые в практикуме, служат дополнением к лекциям, их иллюстрацией, они наполняют абстрактное книжное знание ароматом реальности.

К современной науке студенты-первокурсники приобщаются на лекциях. Тут студентам химфака МГУ сильно повезло по сравнению со студентами многих других химических вузов – лекторы, читающие общий курс неорганической химии, стараются отразить в лекциях основные тенденции развития их науки и наиболее яркие достижения, а также описать современные методы исследования. К сожалению, далеко не все студенты внимательно слушают лекции, уходя в это время в социальные сети, а некоторые и вовсе их прогуливают – покаюсь, что в своё время я тоже посетил от силы три первых лекции академика В.И. Спицына. Практикум – другое дело, его прогуливать нельзя и там надо работать. Кроме того, практическая деятельность производит большее впечатление, чем слушание лекций, и надёжнее закрепляется в памяти. В результате, при существующей программе практикума по неорганической химии у многих студентов может сложиться неадекватное представление об этой науке.

Аналитическая химия

Воспоминание об аналитическом практикуме: многоярусные деревянные штативы с множеством пробирок, заполненных растворами для проведения качественных реакций на неорганические ионы, и сероводородная комната, в которой в конце семестра выполняли за-

четную «профессорскую» задачу по качественному анализу смеси солей. Было, конечно, и много другого, но в память врезалось именно это. Качественные реакции с образованием красиво окрашенных растворов или выпадением осадков – это добрая старая химия с чёткими и понятными уравнениями реакций, но 20 занятий на это было явным перебором.

С тех пор многое изменилось, наиболее разительные перемены произошли на рубеже веков, когда в практикум ввели задачи по атомно-эмиссионной и люминесцентной спектроскопии, инверсионной вольтамперометрии и хроматографии, обеспечив их более-менее современным оборудованием. Достаточно ли этого для создания адекватного представления о современной аналитической химии? Неочевидно.

В программе практикума есть явный и сильный перекокс в сторону неорганического анализа, методов определения неорганических компонентов в различных природных и технологических объектах. Это, конечно, важная составляющая аналитической химии, но далеко не основная, исследователи в своей работе неизмеримо чаще сталкиваются с проблемой определения органических веществ, что связано, в частности, со стремительным развитием биохимии и молекулярной биологии, медицинской диагностики, протеомики и геномики.

Из всего многообразия методов определения органических веществ мы находим среди задач практикума только флуориметрическое определение рибофлавина в медицинских препаратах и качественный и количественный анализ смеси нормальных углеводов (или смеси паров алифатических спиртов) методом газовой хроматографии.

Может быть, об этом говорится в лекциях? Нет. Два больших и содержательных блока лекций, посвящённых электрохимическим и оптическим методам анализа, лекции по титриметрии, пробоподготовке, методам концентрирования и разделения иллюстрируются практически исключительно примерами определения неорганических веществ с единичными упоминаниями фенолов, аминокислот, антибиотиков. Полностью отсутствует информация о методах определения состава и строения белков и нуклеиновых кислот, РНК и ДНК, при

том что эти методы в наши дни используют чрезвычайно широко, кроме того, они очень необычны, даже остроумны, неслучайно за их разработку давали Нобелевские премии по химии.

Конечно, всему этому можно дать рациональное обоснование. Образование строится на базе знаний, имеющихся у учащихся. К моменту начала занятий по аналитической химии студенты надёжно знают только неорганическую химию (на школьное химическое образование, увы, никакой надежды нет), поэтому естественно иллюстрировать методы анализа примерами из неорганической химии. Методы анализа органических соединений, синтетических высокомолекулярных соединений, биополимеров, etc, должны рассматриваться в соответствующих курсах.

Но, на мой взгляд, причина перекоса в курсе состоит в другом – в традициях и текущей научной тематике ведущей кафедры. Это утверждение не следует расценивать как камень в огород кафедры аналитической химии, к которой я отношусь с большим уважением, эта ситуация характерна для большинства кафедр химфака МГУ и других учебных заведений. Всяк кулик своё болото хвалит. Вполне естественно, что лекторы и составители задач практикума уделяют повышенное внимание вопросам и темам, которые близки к их научным интересам и в которых они компетентны.

Кафедра аналитической химии традиционно была сконцентрирована исключительно на неорганическом анализе. За последние 30 лет под руководством академика Ю.А. Золотова тематика кафедры претерпела существенные изменения, но неорганический анализ по-прежнему сохраняет приоритетное место – традиции живучи!

Традиции проявляют себя и по-другому. Так, например, хроматография на химфаке всегда считалась епархией физической химии. Поэтому, наверно, в курсе аналитической химии о хроматографии говорят скороговоркой (об электрофорезе, идейно близком хроматографии, даже не упоминают), четыре лекции на эту необъятную тему явно недостаточно, а ведь это основной метод анализа в современной химии, и студенты с большой вероятностью будут использовать

именно его в своей будущей исследовательской деятельности. В практикуме есть всего две задачи по хроматографии, причём одна из них – по ионной хроматографии. Это как раз одна из немногих областей анализа, где роль хроматографии относительно невелика, но ионной хроматографией занимаются, давно и успешно, на кафедре аналитической химии.

Отдельно следует остановиться на метрологии и статистической обработке экспериментальных данных. Это один из важнейших вопросов химии как экспериментальной науки, но студенты в нём явно «плавают», что в конце концов проявляется в вопиющих ошибках при защите дипломных и диссертационных работ. В курсе аналитической химии этому посвящены отдельные лекции, на семинарах студенты решают задачи по статистической обработке данных, но, судя по результату, это так и остается книжным знанием. Задачи, которые студенты выполняют в практикуме, это по сути единичные эксперименты, результаты которых засчитываются в учебном процессе, но не в реальной исследовательской деятельности. Для того чтобы студенты прочувствовали случайный разброс получаемых данных, необходимы специальные практические задачи. Признаем, что придумать такие задачи не так просто, но это необходимо сделать для полноценной подготовки студентов.

Органическая химия

Постановка практикума по органической химии практически полностью повторяет практикум по неорганической химии, он столь же легко узнаваем. Задачи практикума посвящены исключительно синтезу и дают студентам возможность познакомиться с основными классами органических соединений – непредельными соединениями, спиртами, альдегидами и кетонами, карбоновыми кислотами, ароматическими, гетероциклическими и металлоорганическими (на примере реактивов Гриньяра) соединениями, и основными типами реакций – этерификации, нуклеофильного и электрофильного замещения, конденсации и т.д. Синтезы, как и положено учебным задачам, проходят с высоким выходом и образованием преимущественно одного продукта,

который выделяют и очищают методами перекристаллизации, возгонки, разнообразной перегонки (под вакуумом, с паром, микроперегонки) или колоночной хроматографии. Идентификацию полученных соединений проводят по температурам кипения или плавления и показателю преломления для жидких продуктов. Всё это я делал, когда проходит органический практикум 45 лет назад, разве что лабораторная посуда сейчас получше и роторный испаритель поставили.

Всё это – «классическая» органическая химия, сократить которую без ущерба полноценному образованию очень трудно как в практикуме, так и в лекциях. Как и в курсе неорганической химии, современность дают в лекциях, где появились большие разделы, посвященные природными соединениям, строению белков и нуклеиновых кислот, включая детальное рассмотрение полимеразной цепной реакции (ПЦР), и металлокомплексному катализу в органической химии с его применением, например, для проведения реакций кросс-сочетания. Последнее, впрочем, естественно и логично, ведь кафедра органической химии, в основном благодаря усилиям академика И.П. Белецкой и её школы, – один из признанных мировых лидеров в области металлокомплексного катализа.

Практикум в его нынешнем виде прекрасно соответствует двум первым, обозначенным выше целям практикума – даёт навыки экспериментальной работы в органической химии и иллюстрирует положения лекций. Но есть две проблемы.

Первая: он явно избыточен для тех студентов, которые по тем или иным причинам не планируют в дальнейшем заниматься органическим синтезом. В частности, они могут их бояться, они у них плохо получаются (в том числе, как следствие боязни), для таких студентов каждая новая синтетическая задача – это стресс, который только укрепляет их неприятие органической химии.

Вторая: органическая химия не исчерпывается синтезом. Чтобы убедиться в этом, достаточно открыть любую хорошую статью в «органическом» журнале. В ней почти непременно присутствует теоретическая часть, связанная с квантово-химическими расчётами, приведе-

ны структуры полученных соединений по результатам рентгеноструктурного анализа, многочисленные спектральные данные, подтверждающие структуру полученных соединений и механизм изученных реакций, а также зачастую и данные по практическому использованию полученных соединений. Далеко не всегда для проведения этих исследований привлекают специалистов из других областей науки, их всё чаще выполняют сами химики-органики, освоившие смежные специальности. Понятно, что отразить всё это в студенческом практикуме по органической химии невозможно, для этого и в лекциях не находится достаточно места. Но необходимо, как минимум, ввести задачи по идентификации органических соединений и расшифровке их структуры на основе данных спектральных методов. Сейчас этому посвящены семинарские занятия, на которых рассматривают, в основном, методы ЯМР, причём в классическом варианте (хотя методы и аппаратура ЯМР за последние десятилетия сделали большой шаг вперёд). Оторванные от практики, эти знания так и остаются «книжными», студенты старших курсов слабо разбираются в методе ЯМР, что уж говорить о масс-спектрометрии и рентгеноструктурном анализе.

А в целом, всё это приводит к тому, что у студентов складывается ложное впечатление о современной органической химии.

Физическая химия

Не будет большим преувеличением сказать, что физическая химия составляет теоретическую основу химии, а её методы делают химию количественной наукой. Неслучайно почти 50 лет назад блок лекций по основам физической химии (их читал профессор О.М. Полторак) ввели в курс неорганической химии, в самом начале обучения на химическом факультете. Так сложилось, что это произошло в год моего поступления на химфак, поэтому я мог наблюдать реакцию на это нововведение. Лекции вызвали огромный интерес у студентов (немалую роль сыграла здесь личность лектора), но к этому интересу примешивалось некоторое недоумение и изумление – многие студенты были не готовы к такой химии.

Ситуация усугублялась ещё двумя обстоятельствами. Во-первых, лекции не были подкреплены практикумом, поэтому воспринимались как некое абстрактное знание. Во-вторых, эти знания никак не использовались в дальнейшем в основном курсе неорганической химии, потому что некоторые преподаватели также были не готовы к такому нововведению и демонстративно ему противились. И только по прошествии лет, после введения в неорганический практикум физико-химических задач (например, измерение теплоты растворения солей) и омоложения состава преподавателей в полной мере проявилась благотворность введения «вводного концентра» по физической химии – он задавал правильный вектор преподавания и восприятия химии.

Перейдём теперь к основному курсу физической химии и сопровождающему его практикуму. Проблема преподавания физической химии состоит в её необъятности и раздробленности. С другой стороны, это позволяет относительно безболезненно выделять из неё отдельные теоретические курсы – коллоидной химии, квантовой химии, строения молекул и строения вещества вместе со всей спектроскопией и т.д., многие из которых не подкреплены, увы, адекватными практикумами.

В настоящее время курс лекций по физической химии состоит из трёх больших блоков: классическая и статистическая термодинамика, кинетика и катализ, электрохимия. По понятным причинам преобладающая часть времени в лекциях уделяется рассмотрению теоретических концепций, которые весьма затруднительно иллюстрировать задачами в практикуме. В результате практикум становится оторванным от курса лекций и представляет собой довольно бессистемный набор задач, которые не отражают ни современные исследования в области физической химии, ни используемое при этом оборудование, они зачастую надуманные и плохо связаны с другими курсами и будущей исследовательской деятельностью учащихся.

В качестве примера приведём хроматографию. Ранее, при обсуждении практикума по аналитической химии, мы объясняли некоторую скоманность курса хроматографии тем, что традиционно это область физической химии и вот там... А там мы имеем одну-

единственную задачу по расчёту изотермы сорбции из газохроматографического пика. Прекрасно помню, как профессор А.В. Киселёв в спецкурсе по адсорбции и хроматографии рассказывал нам, студентам теоретической группы, как это делается, но с тех пор я ни разу не использовал это знание, при том что довольно долго работал в этой области. И ещё я вижу, что студенты, приходящие на нашу кафедру химии нефти и органического катализа, имеют весьма смутное представление о хроматографии, и читаемый им спецкурс по хроматографии приходится начинать с азов. То же можно сказать и о катализе, где практические навыки работы на более-менее современном оборудовании у студентов отсутствуют напрочь.

Как мы видели на примерах других общекурсовых практикумов, недостаток «современности» в практикумах компенсируется (хотя бы отчасти) в лекциях. О курсе физической химии этого сказать нельзя, хотя, признаем, этому есть объективные причины. Основные теоретические концепции физической химии были сформулированы давно, в среднем сто лет назад, их и преподают, всё с той же основательностью, что и во времена моего студенчества. По-прежнему недостаточное, на мой взгляд, место уделяется неравновесной термодинамике и процессам в открытых системах, тоже вещи не новые, но вытекающая из них самоорганизация – лейтмотив современной науки, не только физической химии, её надо разъяснять в деталях и подкреплять практическими задачами. Но всё упирается в традиции, в традиционную структуру курса. Вот и в лекциях по катализу рассказывают о теориях Баландина и Кобозева, которые даже 50 лет назад выглядели несколько устаревшими.

Приятным контрастом служит блок лекций по электрохимии, чему опять же есть объективное объяснение – в последние десятилетия в этой области достигнут значительный прогресс. Перенос электрона в зазоре туннельного микроскопа, молекулярная проводимость и устройства молекулярной электроники, осаждение низкоразмерных объектов для наноэлектроники, электрохимическая интеркаляция, изменение кислородной стехиометрии оксидов, устройство и принципы

работы металлгидридных и литиевых аккумуляторов – все эти вопросы рассмотрены в курсе лекций, хотя, на мой взгляд, им можно было бы уделить и большее внимание. И, к сожалению, они не подкреплены задачами в практикуме. Возможно, задача «Определение константы диссоциации слабой кислоты по закону Оствальда методом кондуктометрии» важна с методической точки зрения, но не вдохновляет и бесконечно далека от современных проблем и методов электрохимии, физической химии и химии в целом.

Спецпрактикум

Если у вас сложилось впечатление, что я слишком ярко критикую существующие общие курсы и практикумы и призываю к их кардинальному пересмотру и тем паче к сокращению, то это не так. Эти курсы обеспечивают полноценное фундаментальное образование, без которого невозможно вырастить квалифицированного химика-исследователя. Они существуют в нынешнем объёме исключительно благодаря тому, что химфаку удалось сохранить специалитет, при переходе на двухуровневое образование бакалавриат-магистратура общие курсы естественным образом сокращаются за счёт введения специальных курсов и выполнения выпускной работы, что влияет на качество подготовки, это тот самый случай, когда сумма частей меньше целого.

Тем не менее, элементы двухуровневого образования есть и в специалитете, когда учащиеся распределяются по кафедрам, посещают довольно много специальных курсов лекций и проходят спецпрактикум, который разительно отличается от общекурсового. Наиболее интересная ситуация складывается на кафедрах, которые ведут общие курсы.

Возьмем, к примеру, кафедру неорганической химии. Формально, спецпрактикум также посвящён химическим методам синтеза неорганических веществ и материалов, но это – современные методы, в частности, криохимический метод, газотранспортный метод выращивания кристаллов, получение наноразмерных халькогенидов металлов – квантовых точек, электрохимический синтез металл-оксидных нанокomпозитов, графоэпитаксия и другие. Синтезы выполняют не на учебном, а на настоящем исследовательском оборудовании, задача

помимо синтеза включает идентификацию полученного вещества (опять же современными методами) и тестирование его свойств, то есть воспроизводит всю последовательность исследования вещества. Понятно, что выполнение каждой такой задачи занимает несколько занятий (как правило, 8 занятий по 4 часа). Также понятно, что обеспечить доступ к исследовательскому оборудованию реально только в рамках небольшой группы учащихся (5–20 человек), поэтому перенос этих задач в общий практикум вряд ли возможен.

Аналогичный подход к организации спецпрактикума используют практически на всех кафедрах химического факультета, но здесь есть два нюанса. Первый связан с оборудованием. Далеко не все кафедры располагают представительным набором современного оборудования даже в сфере своей деятельности, и мало кто рискнет разрешить студенту нажимать клавиши уникального дорогостоящего оборудования даже под присмотром ответственного за него оператора. Второй нюанс связан с составлением задач для практикума. Придумать хорошую задачу для практикума и методически правильно её оформить вообще дело непростое, а этим зачастую занимаются (по разрядке) научные сотрудники без опыта преподавательской деятельности, сейчас к этому подключили и аспирантов (для приобретения этого самого опыта). Вполне естественно, что составители задач в этой ситуации идут по пути наименьшего сопротивления и трансформируют в учебную задачу какой-то фрагмент своей собственной исследовательской работы. В результате программа спецпрактикума становится слепком с научной тематики кафедры. Это можно принять, если проводимые на кафедре исследования лежат в тренде современной мировой науки, но, будем честны, это не так. Не на всех кафедрах... Не все исследования...

Должна ли учебная задача быть исследовательской?

Химфак МГУ готовит химиков-исследователей, это его главная задача. Но при этом все общекурсовые практикумы, которые мы рассмотрели выше, да и большинство спецпрактикумов составлены из задач со строго прописанными методиками, не подразумевающими

никакого «творчества». Нет ли здесь противоречия? Может быть, следует с самого начала обучения предлагать студентам исследовательские задачи с неопределённым заранее результатом, допускать проведение эксперимента по видоизмененной методике, с изменением условий проведения эксперимента?

Вопрос далеко не праздный, он есть отражение векового спора между индуктивистской и конструктивистской концепциями образования, выходящего далеко за пределы химического практикума, да и химии в целом. Каждая из этих концепций имеет свои достоинства и недостатки, своих горячих сторонников и непримиримых противников. Лично я больше склоняюсь к индуктивистской модели, а применительно к студенческому химическому практикуму – так и безоговорочно. Попробую обосновать свою позицию.

1. Прежде чем заниматься «творчеством», необходимо овладеть азами мастерства, обязательными умениями и знаниями. Особенно важно это в химии, где неподготовленное «творчество» вполне может закончиться взрывом в прямом смысле этого слова.

2. При всеобщем помешательстве на креативности сложилось мнение, что работа по инструкции – это нечто низшее и простое. Мнение ложное, а для химии так и вредное. Для будущих химиков-исследователей чрезвычайно важно научиться работать точно по методике, подавляя зуд что-нибудь немедленно «улучшить» или исключить какую-нибудь операцию из-за её «очевидной излишности». На этом стоит воспроизводимость, краеугольный принцип науки. Это экспериментировать, постоянно меняя условия, в определённом смысле проще, потому что веселее.

3. Так называемые исследовательские задачи, предлагаемые учащимся, на самом деле представляют собой лишь имитацию исследования, ведь их результат заранее известен. Подразумевается, что он известен только преподавателям, но в век всеобщей информатизации это тайна Полишинеля. При желании учащийся всегда узнает, какого результата от него ожидают, и выполнение исследовательской задачи

уподобится написанию реферата распространенном ныне методом copy-paste.

4. Атмосферу настоящего исследования с трудом и крайне редко удаётся внедрить даже на стадии выполнения курсовых работ, где это вроде как декларируется. Студент к определённой дате должен представить и защитить работу, содержащую оговоренный объём экспериментальных данных, отрицательные результаты не принимаются, как и объяснения типа «я (он) старался». В этой ситуации ответственный руководитель вынужден давать курсовику что-то сверхнадёжное, рутинную и отработанную часть собственного исследования, с готовыми методиками и работающим оборудованием. И пусть при этом получают новые данные, это – не наука, это – продолжение практикума.

Как же привить студентам навыки исследовательской работы? Ответ на этот вопрос очень простой, давно известный и тысячекратно опробованный: через работу в настоящей исследовательской лаборатории, желательно, с первых курсов обучения. И к современности там же приблизятся. Если, конечно, с лабораторией повезет.

Гипотетические варианты

Рассмотрим кратко ещё две «инновационные» идеи, обсуждаемые университетскими преподавателями и научными сотрудниками.

Первая – объединенный практикум в начале обучения с последующей специализацией. Обоснование здесь такое. В общекурсовых практикумах по основным дисциплинам много дублирования. Очень похожие задачи по измерению теплоты реакций выполняют в практикумах по неорганической и физической химии, по кондукто- и потенциометрии – в практикумах по аналитической и физической химии, методы очистки веществ в синтетических задачах по неорганической и органической химии практически не различаются. Кроме того, количество приёмов, используемых при синтезе, довольно ограничено, они повторяются из задачи в задачу, что делает практикумы по неорганической и органической химии явно избыточными, особенно для

тех, кто не планирует в дальнейшем специализироваться в этих дисциплинах.

Создание оптимальной сбалансированной программы практикума, охватывающего основные химические дисциплины, позволит существенно сократить его продолжительность (например, до двух семестров) при сохранении приобретаемых учащимися умений и навыков экспериментальной работы, то есть сохранении качества образования. Это также позволит учащимся сделать обоснованный выбор своей будущей специализации, которая будет включать, конечно, прохождение курсов основных химических дисциплин, но в «индивидуальном» объёме, необходимом в рамках выбранной специализации.

Формально, такая система соответствует двум из четырёх перечисленных выше целей практикума. Но её ущербность состоит в том, что практикум существует сам по себе, без связи с теоретическим курсом, то есть без глубокого понимания смысла совершаемых операций. Сторонники этой идеи напевают на то, что в методических разработках к каждой задаче присутствует достаточное теоретическое введение. «Жизнь слишком коротка, чтобы читать теоретические введения, – отвечают на это многие студенты. – Сделал, сдал, забыл». Не способствует это и подготовке к будущей исследовательской работе, продуктивность которой зависит от широты знаний, от эрудиции исследователя. Одна из главных бед современной науки кроется в её узкой специализации, зачем усугублять её на стадии обучения? Или нас ничему не научила реформа школьного образования?

Вторая идея направлена на исправление одного из явных пробелов в подготовке наших выпускников, который состоит в недостаточном знании современных методов исследования, особенно в части практических навыков. И это при том, что информация о некоторых методах многократно дублируется в лекциях и семинарах различных курсов. Например, об ИК-спектроскопии сначала упоминают в курсе неорганической химии, затем разъясняют её в отдельной лекции по аналитической химии, разбирают на семинарах по органической химии и детально рассматривают в блоке курсов физической химии, но

всё это не подкрепляется практическими занятиями и поэтому быстро испаряется из памяти. Определённые и подчас вполне адекватные умения учащиеся приобретают при прохождении спецпрактикумов и выполнении дипломной работы, но это узкоспециальные умения, которые оказываются недостаточными при начале самостоятельной работы, смене специализации и т.п.

Так, может быть, стоит организовать отдельный семестровый или даже двухсеместровый общекурсовой практикум по физическим методам исследования, оснастив его современным оборудованием по типу центров коллективного пользования? Так, как это делают в некоторых ведущих западных университетах. Идея заманчивая, но, на мой взгляд, утопическая. И дело тут не только в том, что она непосильно дорогая, если речь идёт о действительно современном оборудовании. За одно-два занятия невозможно овладеть методом, можно в лучшем случае научиться крутить ручки и нажимать кнопки, следуя скриншотам в методической разработке.

Ценность специалиста, работающего на том или ином приборе, определяется его умением правильно подобрать режим подготовки и анализа образца и умением интерпретировать полученные данные, извлекая из них максимум полезной информации. Всё это приходит с опытом и базируется на хорошей общей (теоретической) подготовке. Я не раз слышал такое мнение о выпускниках химфака: «Они иногда не знают чего-то важного для нашей работы, но точно знают, где найти нужную информацию и способны воспринять её». Это – следствие хорошей фундаментальной подготовки, благодаря которой наши выпускники могут самостоятельно доучиться и переучиваться. Эту ценность нашего образования мы должны всеми силами сохранять. Хотя поставить несколько новых приборов в практикумы тоже не помешает.