

## ЗАМЕТКИ О ТОМ, КАК УЧАТ ХИМИИ В АМЕРИКЕ

### Часть 1. Средняя школа

**Гольдфельд М. Г.**

*Городской колледж Сан-Диего, Калифорния, США*

*Я рассматриваю как привилегию предложение принять участие в сборнике памяти Ильи Абрамовича Леенсона. Помню Илюшу Леенсона школьником – победителем химических олимпиад, тогда ещё московских, а потом студентом химфака МГУ, который сразу же включился в связанную с олимпиадами работу. Этот большезлазый мальчик-умница вполне ожидаемо стал высоким профессионалом в науке, сочинял замечательные задачи для теперь уже всесоюзных, а потом и международных олимпиад, и особенно ярко раскрылся как автор оригинальных, никого не повторяющих публикаций образовательной направленности о самых различных аспектах химии. Леенсон писал о химии увлекательно и для школьника, и для профессионала. Свежий, «незамыленный» взгляд на, казалось бы, давно известные вещи, живая манера речи, сочетался у него с глубоким, исчерпывающим знанием предмета. Он не стеснялся в своих педагогических трудах, когда надо, прибегать к непростым вычислениям, не склонен был принимать на веру всё, что написано как в российских, так и в иностранных источниках, и не раз находил существенные ошибки в работах, описывающих далеко не новые сюжеты. Хорошо известно: чтобы писать о науке просто, надо знать гораздо больше того, что будет написано. Это в высшей степени относится к публикациям Леенсона.*

*Среди них есть и разработанные или усовершенствованные им остроумные экспериментальные задачи по курсам общей, неорганической и физической химии. Некоторые напечатаны в весьма требо-*

*вательном Journal of Chemical Education Американского химического общества (АХО), см., например, [1–6]. Насколько мне известно, там опубликовано 11 статей – больше, чем у любого другого российского автора. Его работы побуждают к размышлениям о целях, содержании и месте эксперимента в обучении химии.*

Работая с 1992 года в США, сначала в академических учреждениях, а затем преподавая по совместительству с основной работой в индустриальном секторе, я вёл лабораторные занятия практически по всем химическим курсам: от школьной общей химии, через так называемую Advanced Placement Chemistry\*, лабораторного практикума регулярного курса общей химии – 2 семестра по 3–5 лабораторных часов в неделю в университетах штатов Огайо, Индианы, Калифорнии до практикумов вводного курса общей, органической и биохимии (в Калифорнии); методов инструментального анализа (в Калтехе), практикума вместе с теоретическим курсом физической химии (в университете штата Миннесота) и даже практикума по органической химии в полумикро-варианте в рамках вводного курса органической химии, о котором скажу позже.

В своих заметках я опираюсь также на хорошо мне известный опыт некоторых своих коллег. Моя дочь, проф. Анна Ларсен (Ithaca College) регулярно делится со мной опытом своего института. Ithaca College – частный, довольно дорогой колледж, известный в том числе оригинальными разработками в области учебного эксперимента и самым высоким процентом выпускников, поступающих в аспирантуры химического профиля престижных «исследовательских университетов». Мы с ней соавторы пособия по курсу общей химии. В американской ветви нашей семьи ещё, по крайней мере, четверо профессионалов химиков или молекулярных биологов, так что вопросы о том, чему и как учить химиков – предмет регулярных разговоров. Кроме то-

---

\* Курс институтского уровня, но преподаваемый и в некоторых школах для более продвинутых учащихся. Многие, хотя и далеко не все, университеты засчитывают его по результатам ежегодного экзамена, проводимого Американским химическим обществом, что позволяет сократить длительность, а, следовательно, и стоимость обучения по программе бакалавриата.

го, в разное время я немного занимался репетиторством, и это тоже дало мне кое-какой материал для размышлений об американской школе.

Прежде чем переходить к содержанию практических занятий по химии, посмотрим сначала, каким образом организована здесь система образования в целом. Она, конечно, очень отличается от иерархической структуры управления образованием в России.

Америка отнюдь не самая образованная нация в мире. Хотя номинально среднее образование обязательно, на самом деле до получения диплома о среднем образовании доходят примерно 84% учащихся. Некоторые из недоучившихся затем всё же завершают среднее образование в системе, напоминающей российские вечерние школы, т. е. параллельно с работой.

Министерство образования США, учрежденное президентом Картером в 1980 году, устанавливает правила, по которым осуществляется федеральная финансовая поддержка образовательных программ, собирает и обобщает сведения об организации учебного процесса в школах США и следит за выполнением законодательства в области соблюдения гражданских прав в сфере образования. Министерство само не учреждает никаких образовательных учреждений и не осуществляет никакого административного контроля над ними. Оно, однако, ежегодно распределяет ни много ни мало около 140 миллиардов долларов из федерального бюджета на гранты, ссуды и программы, обеспечивающие, например, рабочие места для студентов, совмещающих работу с учебой (всеми этими видами помощи пользуются примерно 12 миллионов студентов). В его ведении находятся некоторые исследовательские центры, которые собирают и обобщают статистические данные, публикуют информацию об инновациях в сфере образовательных технологий, дают гранты вузам на исследования в области методики преподавания и т. п.

В административном смысле, система образования в США полностью децентрализована, министерство напрямую не устанавливает никаких федеральных стандартов, не влияет на содержание школьных

программ, независимо от того, являются ли эти школы государственными (т. е. финансируются из местных налогов), или частными, чартерными, религиозными и т. д. В каждом штате, однако, имеется совет по образованию с некоторыми административными прерогативами (в каждом штате по-своему). Качество образования обеспечивается в основном системами аккредитации. Их много: они бывают территориальными (например, аккредитуют колледжи одного или нескольких штатов региона) или по дисциплинам. Например, программы по химии (в вузе или средней школе) могут быть аккредитованы АХО. Основная цель, которая была декларирована при образовании федерального министерства образования, состояла в том, чтобы способствовать созданию равных стартовых условий образования всем детям, независимо от социального статуса родителей и штата. Не думаю, чтобы эта цель была достигнута. Сама необходимость существования федерального министерства образования является традиционным предметом разногласий между правыми и левыми политическими силами в США.

Школы относятся к ведению местных территориальных школьных дистриктов. В таком дистрикте может быть и одна или две, три школы, а могут быть и десятки школ. Интересно, что правила в дистрикте вырабатывает его совет (Board) – это выборный орган, возглавляемый супервайзером (выборным лицом, но на зарплате). По моим наблюдениям, выборы эти отнюдь не формальны: конкурирующие кандидаты ведут публичные избирательные кампании, дают всякие предвыборные обещания улучшить то или это, и избиратели – все жители данной территории как налогоплательщики, по преимуществу родители – рассматривают членов совета как своих представителей и относятся к выборам со всей серьезностью. Качество школьного образования в целом поддерживается стремлением родителей обеспечить детям конкурентоспособность в плане дальнейшего образования и на рынке труда. Отсутствие федеральных стандартов имеет свою теневую сторону. В сельских районах, в местностях, где имеется сильное влияние некоторых религиозных конфессий, школьные советы, случается, вторгаются в содержание обучения, настаивают, например, на

исключении теории эволюции. Более того, по некоторым данным [7], один из каждых десяти учителей биологии придерживается мнения (то ли по убеждению, то ли из конформизма), что в учебный план надо включать креационизм.

Каково место химии в американской школе? Мне не попадались здесь школы старшей ступени, в которых бы химия не была в числе, если и не обязательных, то, во всяком случае, предлагаемых учащимся, предметов. Тем не менее, готовя этот материал, я ознакомился со статистическими данными и обнаружил, к своему удивлению, что на самом деле примерно в половине средних школ США химия как отдельный предмет отсутствует. На рис. 1 на карте США [8] показана доля школ во всех штатах, в которых не преподают химию. Эта доля находится в интервале от 44 до 73%.

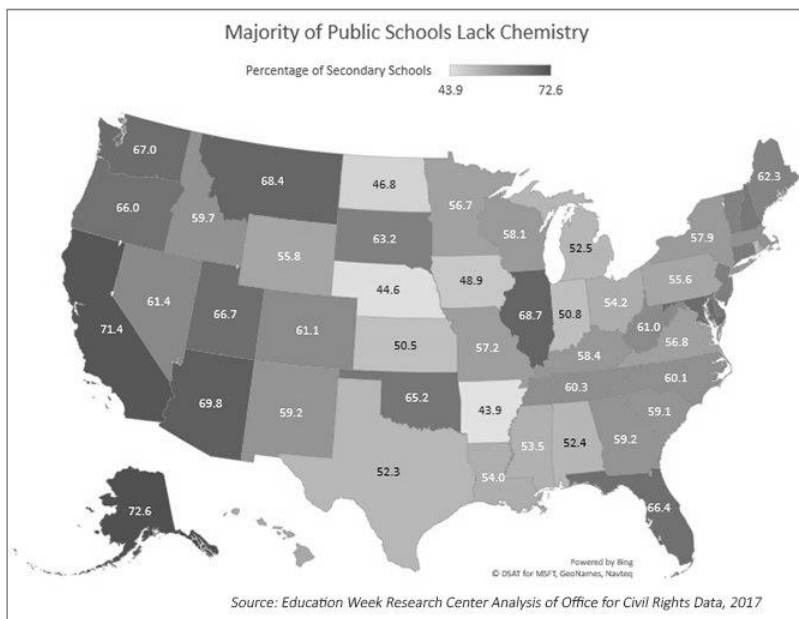


Рис. 1. По состоянию на 2017 год, доля школ, где химия не предлагается как отдельный предмет, колеблется в отдельных штатах в пределах от 44 до 73%

Статистические данные несколько противоречивы. По данным Отдела по правам человека Министерства просвещения США, по состоянию на 2011/12 учебный год, химия предлагалась в 75% школ США, с разбросом по штатам от 38% (Аляска) до более чем 90% (Округ Колумбия, Мэйн, Арканзас, Массачусетс, Нью-Хэмпшир, Род Айленд) [9]. Можно заметить, что статистический анализ системы образования – одна из главных функций Министерства. По другим источникам, однако, доля школ, предлагающих химию как отдельный предмет в старшей школе, гораздо меньше, как это следует из карты на рис. 1: по этим данным, химию, в разных штатах, предлагают всего лишь от 27 до 56% школ [10]. Это, впрочем, вовсе не означает, что такой же процент учащихся на самом деле изучает химию. Из тех же публикаций [9] Министерства следует, что по состоянию на 2015–2016 учебный год, из 16,7 млн старших школьников химию изучали всего 2,92 млн (17,5%)\*.

Конечно, некоторые элементы химии в учебных планах имеются всегда, поскольку биологию (life science) выбирают почти все учащиеся (более 80% всех получивших школьный диплом), причём описание этого предмета неизменно начинается с «химии клетки», т. е. необходимые сведения из химии вводятся по ходу дела. Кроме того, в курсах естествознания на средней и старшей ступенях школы сведения из химии тоже имеются. Для получения школьного диплома надо набрать определенное число кредитов (т. е. часов при положительной итоговой оценке) по предметам естественнонаучного цикла. К ним относятся химия, биология, физика (последнюю выбирают гораздо реже), объединенный курс физики и химии, Earth & Space science (не что вроде геологии, но с элементами космологии), экология. Однако, как уже было отмечено, имеется выбор, и набрать необходимые кредиты можно и без химии.

Эти заметки в основном о практических занятиях, а не о курсах химии в целом. Однако в химии эксперимент, опыт практической, вы-

---

\* Благодарю А. Ф. Насонова, обратившего моё внимание на публикации с этими статистическими данными.

полненной собственными руками, работы в лаборатории, навыки наблюдений и анализа результатов – это всё едва ли не важнейшие элементы образования, да и воспитания тоже. Цель работы в химическом практикуме, конечно, не в том, чтобы научить отдельным техническим приёмам профессионального эксперимента: как бы хорошо ни была оборудована учебная лаборатория, можно не сомневаться, что к моменту, когда выпускник школы или вуза начнет работать, скажем, в промышленности или в секторе здравоохранения, технология, оборудование, инструментарий – всё будет другим. Техника эксперимента меняется на глазах, и важно не столько владеть набором каких-то операций, как быть готовым осваивать новые. Это касается и самых простых вещей: например, в учебных лабораториях всё ещё используются стеклянные пипетки (теперь, правда, в комбинации с поршневыми насосами вместо традиционных резиновых груш), а профессиональные лаборатории давно перешли к автоматическим пипеткам и многоканальным электронным дозаторам. И точно так же постоянно обновляется весь инструментарий и приборный парк. Поэтому важно, чтобы учебный эксперимент был выстроен от простого к сложному – и в том, что касается научного содержания, и в применяемой технике, и в сопряжённых расчётах.

Далее, очень важен воспитательный аспект учебной лаборатории: развитие способности к тщательной, терпеливой черновой работе, без которой никакая наука невозможна; наблюдательности, осознанного стремления к честной и объективной оценке результатов эксперимента; навыков совместного, коллективного труда. Из всего этого складывается высокая трудовая этика, которую работодатели ищут прежде всего в кандидатах на рабочие места в любой отрасли.

Наше обсуждение того, как решаются все эти задачи учебной лаборатории в США, мы начнём со средней школы. Надо иметь в виду, что учебный план в американской школе строится совсем не так, как в российской. В американской школе (K-12, Kindergarten to 12<sup>th</sup> Grade), с некоторыми местными вариациями, имеются три ступени: начальная (от 6 лет, с 1-го по 5-й класс), средняя (6–8-й классы) и

старшая школы (с 9-го по 12-й классы). Школьный аттестат можно получить, не изучая никакой химии, кроме некоторых её элементов в общем курсе естествознания на средней ступени. Надо набрать определённый минимум часов («кредитов») по естественным наукам, но в эту категорию, случается, включают, например, кинологию (грубо говоря, собаководство). Моя внучка, Лия Ларсен, в школе совсем не изучала физику (потом наверстывала в колледже). Нам трудно себе представить, как можно изучать химию, не имея никакой базы по физике, но здесь это случается сплошь и рядом. Физика считается трудным предметом, её откладывают на потом или не берут в школе вовсе.

Другое отличие учебного плана от нашего состоит в том, что все предметы преподаются концентрированно: химию изучают в школе два семестра (полугодия), обычно по 4 часа в неделю. Это можно делать в любом классе с 9-го по 12-й, независимо от выбора других предметов. Составление индивидуального расписания для каждого ученика – головоломка, которую помогают решить имеющиеся в штате школы консультанты («counselor», это отдельная профессия, требующая соответствующей квалификации). Общую биологию, с акцентом на молекулярную биологию, часто изучают до химии, как бы нелогично это ни выглядело.

Школьный курс обязательно включает лабораторные работы. Однако уровень и курса в целом, и особенно его лабораторной части, очень неровный. В часы лабораторных работ в расписании проводят контрольные, экзамены, подготовку к экзаменам и т. д. Собственно эксперимент занимает не более половины (часто гораздо меньше) времени, формально отведённого в расписании на лабораторные занятия. Остальное – так называемые «activities», которые могут состоять в чём угодно, например в том, чтобы нарисовать модель атома по Бору или трёхмерные модели молекул, пересчитать концентрации растворов из одних единиц в другие, потренироваться в номенклатуре или стехиометрических расчётах, посмотреть видео и ответить на вопросы по увиденному и т.д. Дела эти полезные, но к эксперименту они не относятся.



Всякий химический практикум и в школе и в вузе начинается с техники безопасности. Нечего и говорить, что этому, по крайней мере, формально, уделяется очень много внимания. Каждый семестр химический практикум начинается с вводного занятия, посвящённого в основном именно технике безопасности. Обычно показывают учебный фильм на эту тему. После весьма подробного обсуждения всех аспектов техники безопасности применительно к данной лаборатории каждый учащийся должен подписать документ, подтверждающий ознакомление с правилами, и обязательство их выполнять. Затем проводится контрольная работа по технике безопасности, которая может быть и не очень простой. Даже во вводном курсе химии с самого начала требуется понять, как, например, работать с Safety Data Sheet (SDS) и, готовясь к каждому следующему эксперименту, найти (в Интернете) SDS для всех потенциально опасных материалов, знать и использовать общепринятые пиктограммы для обозначения характера и степени опасности, несмотря на то, что из программ учебных лабораторий токсичные и пожароопасные материалы или исключены вовсе, или используются в минимальном количестве. Во всех лабораториях имеется набор противопожарных средств, аварийный душ, устройство для промывания глаз, вытяжные шкафы. Студенты и школьники должны приходить в практикум в лабораторном халате (реже – в переднике) и с защитными очками. Не допускается открытая одежда и обувь. Это довольно суровое ограничение в местностях, где подавляющее большинство населения, независимо от пола, возраста и времени года, ходят в шортах. В общем, делается всё возможное, чтобы подчеркнуть важность соблюдения всех норм техники безопасности. И тем не менее...

Моё самое первое по прибытии в США впечатление от учебной лаборатории физической химии в штате Миннесота, где мне предстояло вести практикум, состояло в том, что в щелях и трещинах в покрытии пола и лабораторных столов было ясно видно множество мелких капель ртути. Источником были, по-видимому, вакуумные установки с ртутными манометрами и диффузионными насосами. Я по-

тратил неделю, применяя все приёмы, которым меня обучали на химфаке МГУ, чтобы эту ртуть собрать и обезвредить. Руководство кафедр, хоть и не мешало мне в этом деле, но, кажется, не было озабочено самим фактом, и было ясно, что ртуть там сидела много лет.

Имеется сравнительно небольшой набор доступных в школьных условиях и популярных экспериментов (около 40). Компания Vernier Software & Technology, основанная ещё в 1981 году, за последние примерно 20 лет разработала комплекс датчиков, адаптеров, программного обеспечения и сопутствующей литературы [9], сильно облегчающих проведение лабораторных работ (не только по химии). Продукция этой фирмы широко используется в школах, а также и во многих вузах. Хотя на всех устройствах Vernier есть предупреждение, что они предназначены только для учебной работы, их продукция вполне надёжна и для использования, например, в лаборатории биотехнологической компании (при этом она в разы дешевле устройств того же назначения, предназначенных для профессиональных исследований). На сегодняшний день список лабораторных работ по химии, предлагаемых этой фирмой, содержит 36 экспериментов. Он охватывает калориметрию и термохимию, газовые законы, электрохимические измерения, эксперименты по кинетике и равновесию с применением спектрофотометрии, всевозможные титрования, измерения поверхностного натяжения, опыты с перегонкой, в том числе и вакуумной, горячим фильтрованием, анализы на содержание хлора в воде, железа в пищевых продуктах, аскорбинки в апельсиновом соке и т. д. Список этот постоянно расширяется.

Vernier поставляет датчики температуры, давления, pH, окислительного потенциала, ион-селективные электроды, кислородный датчик, счётчик капель, спектрофотометр для видимой части спектра и, немного подороже, для видимого и УФ спектра, аппарат для определения точки плавления и много чего ещё. Все они предоставляются вместе с унифицированным программным обеспечением, сопрягающим их с любым стандартным компьютером. От пользователя не требуется никакой компьютерной грамотности, любой «валенок» (сужу

по себе) легко всё это осваивает. Получаются красивые графики, допускающие математическую (например, перейти от функции к её производной или найти максимум в спектре поглощения) и статистическую обработку (ошибки, линейные регрессии и проч.) Результаты переносятся без проблем на другие платформы (в Excel и т. п.). Спектрофотометр Vernier – коробочка размером 10x15 см, стоит примерно \$300. Во многих учебных заведениях их не менее 10–15 штук, по одному на пару учащихся, при этом стандартное заполнение учебной лаборатории в большинстве случаев – до 20 человек. Компания имеет представителей в России (ООО «Всё для Школ», Москва), Казахстане («Базисный Магазин» <https://posobie.kz> , Караганда), на Украине («Би-ПРО», Киев), в Прибалтике («Totaledu.ee», Tallinn).

Надо сказать, что школьному учителю химии предоставляется довольно широкая самостоятельность в форматировании курса и, похоже, никакой регулярной системы контроля за тем, что происходит на занятиях, в том числе лабораторных, не существует, по крайней мере, до тех пор, пока не поступят жалобы руководству школы, а это случается редко. Учителя, по большей части, имеют степень бакалавра, не обязательно по химии, и могут вести занятия также и по биологии и смежным предметам. Если это люди творческие, они пытаются внести что-то своё, что, казалось бы, не плохо. Однако недостаточная образованность учителя нередко приводит к ошибкам, к составлению задач, противоречащих здравому химическому смыслу, некорректной интерпретации экспериментов, использованию очевидно ошибочных табличных данных. Всё это иногда встречается и в учебниках – их много, есть из чего выбрать, но имеется тенденция обходиться и вовсе без учебника. Школьники, студенты не привыкли читать и вникать в смысл прочитанного. С этим приходится считаться. Поэтому всё, что учитель считает минимально необходимым, размещается на веб-сайте курса, в том числе и руководство к лабораторным работам. При этом добавляются ошибки, связанные с недостаточной образовательной базой самого педагога. Ну и, конечно, не обходится и без явной халтуры: содержание курса в целом и число лабораторных работ в особен-

ности произвольно сокращаются, чаще всего за счёт «описательной химии» – химии элементов. Начало курса перегружено расчётами (единицы, измерения, ошибки), которые попали в курс химии просто потому, что больше некуда их девать, так что у учащихся создаётся довольно искажённое (и неблагоприятное) представление о предмете. Как правило, у студентов отсутствуют навыки устного счёта. В своих классах я всегда настаиваю, чтобы студент ещё до точного расчёта мог прикинуть примерный результат и не удовлетворялся ответом, на порядки выходящим за пределы здравого смысла («потому что так получилось»).

Мне не приходилось работать в рядовых средних школах, с положением в них я знаком в основном наблюдая за обучением своих детей и внуков, а также по опыту репетиторства. Однако я пять лет преподавал в Indiana Academy for Science, Mathematics & Humanities – одной из 18 имеющихся в стране, в 15 из 50 штатов, публичных (т. е. бесплатных) школ-интернатов для продвинутых учащихся («high achievers»). В эти школы принимают студентов на конкурсной основе по результатам вступительных экзаменов. Обычно в них имеется два или три старших класса. Это нечто вроде Колмогоровского интерната, но без математической специализации. Indiana Academy является департаментом (мы бы, наверное, назвали это факультетом) в системе университета штата, размещается в университетском кампусе, а её преподаватели (многие с учёной степенью) считаются сотрудниками университета, в котором я числился (по совместительству) адъюнкт-профессором кафедры химии. В этой же школе обучался мой младший сын. Могу сказать, что Indiana Academy давала очень приличный уровень образования, особенно по математическим дисциплинам. Но и химия там – один из важнейших обязательных предметов, причём учащимся предоставляется выбор из целого ряда химических дисциплин: стандартный школьный курс химии, Advanced Placement Chemistry, введение в количественный анализ, вводный курс органической химии и химия для гуманитариев («Liberal Arts Chemistry»). В разное время я преподавал все эти предметы. В школе образцовая ла-

боратория была уже в то время (середина 90-х) оснащена компьютерами – один на каждую пару учащихся, спектрофотометрами, оборудованием для органического синтеза (в малом масштабе) и всем прочим. Лаборатория эта нисколько не уступала по оснащённости учебным лабораториям ряда колледжей, где мне случилось работать до и после. Поощрялась внеклассная активность. Мои ребята из этой школы неоднократно занимали высокие места в химической олимпиаде на уровне штата.

В США нет очного национального тура олимпиады, а отбор в международную команду осуществляется по результатам экзамена (без эксперимента), проводимого местными секциями АХО. К экзамену допускаются 1000 победителей штатных туров. Затем из этой тысячи отбирают 20 человек, набравших высший балл, и проводят с ними очную сессию, с упором на эксперимент, в одном из университетских кампусов, отбирая по итогам этой сессии команду из 4-х человек на международную олимпиаду. Между прочим, на протяжении уже многих лет среди американских химических олимпийцев преобладают молодые люди азиатского происхождения (см., например, [10]); то же относится и к математическим олимпиадам; попадают, впрочем, и выходцы из России.

С небольшой группой школьников энтузиастов Indiana Academy нам удалось провести кое-какие эксперименты, заинтересовавшие исследователей Jet Propulsion Lab в Калифорнии, где в то время работал мой бывший аспирант из Химфизики. На продолжение этой работы (по соединениям шестивалентного железа) был получен грант от NASA (Агентство Космических Исследований), к которому относится эта федеральная лаборатория. Потом и я туда перебрался, и этот проект был доведен до нескольких публикаций. Один из моих бывших школьников поступил в Caltech и работал там со мной, в порядке стажировки, по этой же тематике. Более того, затем была организована совместная программа с группой ядерного гамма-резонанса проф. Ю.Д. Перфильева в МГУ, по которой в Калтехе пару месяцев провел один из его сотрудников, но это уже другая история.

Не буду останавливаться на деталях практикума общей химии в Indiana Academy: содержание его было более или менее стандартным, полностью соответствующим требованиям АХО, которое официально признается законодателем в этой области. Скажу лишь, что практикум этот был во многих отношениях образцовым. Это касается оснащения лаборатории, техники безопасности, формата и требований к ведению лабораторного журнала, отчетов по каждой работе, связи с теоретическим курсом и т. д.

Подробнее остановлюсь на односеместровом факультативе органической химии, включая практикум, в котором все эксперименты выполнялись в полумикро-варианте. Количество исходного материала для опытов составляло от 0,1 до 15 г. Каждый из примерно 10 учащих в этом практикуме в начале семестра получал специально разработанный набор, а также соответствующее руководство [11, 12].

Для моего практикума были выбраны следующие шесть экспериментов из пособия [11], в котором описано около 70 других работ.

1. Экстракция кофеина из чая или тонизирующего напитка. Общее количество материала для экстракции – один чайный пакетик. Экстракция дихлорометаном (3 порции по 1 мл) с отделением органического слоя центрифугированием. Окончательная очистка – возгонкой. Работа занимала два занятия. Кто успевал, дополнительно проводил реакцию кофеина с салициловой кислотой с определением точки плавления кристаллического продукта. Полученные образцы кофеина сохраняли, а затем снимали спектры  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  ЯМР этих и других образцов в университетской лаборатории ЯМР, где проводилось одно занятие в семестре (своего спектрометра ЯМР в школе не было, но метод и его применение в органической химии обсуждались довольно подробно, в том числе на примере продуктов, полученных студентами). УФ-Спектры снимали в своей лаборатории.

2. Анализ анальгетика методом тонкослойной хроматографии (пластинки для ТСХ были в наборе). Целью была идентификация таблеток одного из популярных и не требующих рецепта болеутоляющих лекарств, содержащих один, два или три ингредиента из списка: ас-

пирин, ацетаминофен, ибупрофен и кофеин. Как вариант, разделяли и определяли методом ТСХ пигменты из растительного экстракта.

3. Получение циклогексена дегидратацией циклогексанола 85%-й фосфорной кислотой. Реактор – круглодонная колба на 5 мл. Этот и другие синтезы завешались определением процентного выхода продукта.

4. Нуклеофильное замещение: получение 1-бромбутана из 1-бутанола. В реакцию с бромидом натрия в присутствии серной кислоты вводили примерно 1 г бутилового спирта.

5. Занятие по применению ЯМР, УФ- и ИК-спектроскопии в лабораториях университетской кафедры химии. Анализировались продукты, полученные студентами на предыдущих занятиях.

6. Окисление циклогексанола до циклогексанона (бихроматом) и далее до адипиновой кислоты (азотной кислотой) с идентификацией продуктов методом ТСХ. Использовали 15 г циклогексанола. Полученный циклогексанон отделяли перегонкой с паром, высаливали хлоридом натрия и окончательно очищали перегонкой. После высушивания кристаллов адипиновой кислоты определяли точку плавления и выход продукта.

Поскольку это был вводный курс длительностью 1 семестр (13 недель, по одной трёхчасовой лабораторной в неделю) и большая часть экспериментов требовала двух занятий, эти шесть экспериментальных задач как раз укладывались в расписание.

В США функционируют учебные заведения категории, по видимому, не имеющей аналогов в России, это так называемые коммунальные колледжи (Communal College). Они занимают промежуточное положение между средней и высшей школой. Но о них я расскажу в следующий раз.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Leenson I.A. Thermodynamics and Kinetics of Chemical Equilibrium in Solution. Multipurpose Experiment in the Physical Chemistry Course. J. Chem. Ed. 63(5): 437–441 (1986).

2. *Leenson I.A.* Identification of Primary, Secondary, and Tertiary Alcohols. An Experiment in Spectrophotometry, Organic Chemistry, and Analytical Chemistry. 74(4): 424–425 (1997).
3. *Leenson I.A.* More Experiments in the Penny Lab. J. Chem. Ed. 75(11): 1362 (1998).
4. *Leenson I.A.* Approaching Equilibrium in the  $\text{N}_2\text{O}_4\text{-NO}_2$  System: A Common Mistake in Textbooks. J. Chem. Ed. 77(12): 1652–1655 (2000).
5. *Leenson I.A.* Sulfuric Acid and Water: Paradoxes of Dilution. J. Chem. Ed. 81(7): 1362 (2004).
6. *Leenson I.A.* Sublimation of Iodine at Various Pressures. Multipurpose Experiments in Inorganic and Physical Chemistry. J. Chem. Ed. 82(2): 241–245 (2005).
7. <https://www.livescience.com/11656-13-biology-teachers-advocate-creationism-class.html>
8. <http://blogs.edweek.org/edweek/curriculum/ewrc-chart-2.jpg> .
9. Chemistry with Vernier (<https://www.vernier.com/products/books/cwv/>).
10. <https://www.acs.org/content/acs/en/education/students/highschool/olympiad/international/usteams.html>.
11. *Williamson K.L.* Microscale Organic Experiments. D.C. Heath and Co, 1987.
12. *Williamson K.L.* Instructor Guide for Microscale Organic Experiments. D.C. Heath and Co, 1987.