

## ХИМИЧЕСКИЙ ДЕМОНСТРАЦИОННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОМ (ЛЕНИНГРАДСКОМ) УНИВЕРСИТЕТЕ

**Кононова М.А., Никольский А.Б., Суворов А.В.,  
Селютин А.А., Хрипун В.Д., Тимошкин А.Ю.**

*Санкт-Петербургский государственный университет*

*Искусство экспериментирования  
не есть природный дар: оно  
вырабатывается упражнениями.  
Дж. Тиндаль*

### **Демонстрационный эксперимент на химическом факультете**

Курс лекций по общей и неорганической химии в Петербургском университете читали Д.И. Менделеев, И.П. Коновалов, А.А. Чугаев, И.И. Черняев, С.А. Щукарёв, С.М. Ария, Л.С. Лилич, А.Б. Никольский, А.В. Суворов. Этот перечень можно продолжать и продолжать. И всегда лекции сопровождалось интересными опытами. На лекциях Д.И. Менделеева демонстрационный эксперимент всегда занимал значительное место [1]. Демонстрации предшествовало объяснение опыта, затем следовал собственно опыт, рассмотрение его результатов и обсуждение возникающих вопросов. Эта стратегия построения лекционных демонстраций применяется и в настоящее время. Таким образом, демонстрационный опыт оказывается похожим на маленькое завершённое экспериментальное исследование с постановкой задачи, обсуждением результатов и выводами, а слушатели вовлекаются в выполнение этого исследования.

В этом и заключается одна из причин особого притягательного воздействия демонстрационных опытов на слушателей, то, что пробуждает их интерес не только к химии, но и к науке вообще. Фактически слушатель, он же зритель, становится соавтором происходящего, а

это поднимает его самоуважение, дает ему положительные эмоции и, конечно, исподволь вызывает определённую симпатию к предмету.

Несомненно, живая картина, внешний вид простых веществ и их соединений (агрегатное состояние, окраска, блеск и т. д.), эффекты, сопровождающие химические процессы (изменение окраски, выделение тепла и света, взрыв, растворение и осаждение и пр.), гораздо интереснее, они лучше запоминаются, чем любые слова – лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать.

За прошедшие более полутора веков, на кафедре общей и неорганической химии Петербургского университета был накоплен богатейший опыт лекционных демонстраций [2, 3]. Особенно велика в этом отношении заслуга М.А. Ивановой, занимавшейся лекционными демонстрациями более 30 лет. Её последователями стали М.А. Кононова, Н.П. Федоренко и другие.

С течением времени первоначальный, преимущественно описательный, характер лекций менялся, подчиняясь идеям Периодического закона, термодинамическим, статистическим и квантово-механическим воззрениям. В связи с этим менялись и опыты, демонстрируемые на лекциях, а также методика их проведения. С уменьшением объёма фактического лекционного материала роль демонстрационного эксперимента только возрастает: нужно выбрать реакции, наиболее подходящие для иллюстрации новых взглядов и принципов.

Демонстрационный опыт должен быть наглядным и убедительным; если он не создаёт должного впечатления, то теряет своё учебное значение. Лекционные опыты выполняются в аудитории в крайне малые промежутки времени и поэтому должны быть тщательнейшим образом подготовлены. Главное, о чём всегда нужно помнить, – все опыты должны быть удачными. Даже при самых простых демонстрациях нельзя полагаться на само собой разумеющуюся удачу. Не могут гарантировать удачу и самые подробные описания опытов в пособиях. Каждый опыт до демонстрации должен быть многократно опробован, реактивы и приборы внимательно испытаны, подобраны нужные концентрации растворов и отмечено время, необходимое для проведения

опыта. Таким образом, подготовка опыта до лекции требует продолжительного времени, а его демонстрация длится всего несколько минут. Демонстрация опытов – это искусство, оно требует особых навыков и внимания. Конечно, и хорошо подготовленный и проработанный опыт может не удался по каким-либо случайным причинам, – тогда следует немедленно разъяснить, почему опыт не удался, и сейчас же (или на следующей лекции) его повторить.

Преподавание химии требует от лектора не только передать слушателям определённую сумму знаний, но и внушить живой интерес к химии. Значит, вслед за искусством лектора решающую роль играют целесообразно подобранные и удачно выполненные лекционные опыты. Эта сторона педагогической деятельности требует знаний, опыта и специальных навыков. Следует отметить, что для достижения желаемого эффекта демонстрация не обязательно должна сопровождаться химическим опытом. Показ веществ, предметов и моделей может быть не менее интересен и успешен, чем эффектный опыт со взрывом. Так, демонстрация слитка серы 1880 года с собственноручным автографом Д.И. Менделеева неизменно вызывает восторг первокурсников и создаёт ощущение преемственности поколений, исторической принадлежности к научной школе. Демонстрируя запаянные колбы с хлором, бромом и иодом, можно не только отметить окраску и агрегатное состояние простых веществ, но и обсудить изменение силы дисперсионных взаимодействий при увеличении размера неполярных молекул. Разницу между  $S_N1$  и  $S_N2$  механизмами замещения лигандов в комплексных соединениях наглядно и удобно показывать на большой стержневой модели октаэдра.

### **Демонстрационный эксперимент на нехимических факультетах**

В СПбГУ курсы общей и неорганической химии читаются на различных факультетах, таких, как биологический, медицинский, физический, Институт наук о Земле. В силу специфики учебных планов, не всегда оказывается возможным в рамках выполнения лабораторных работ провести все опыты, иллюстрирующие свойства и закономерности, которые рассматриваются на лекциях и обсуждаются на се-

минарах. В этом случае демонстрационный эксперимент оказывается чрезвычайно важным. Разумеется, объём этого эксперимента и его наполняемость заметно меньше, чем на лекциях для студентов-химиков. Тем не менее, обязательно иллюстрируются основные химические и физико-химические свойства, необходимые для более глубокого понимания природных и биохимических процессов. В этом случае меньше внимания уделяется непосредственно неорганическим превращениям, больший упор делается на физико-химический характер процессов – рассматриваются, например, явления осмоса, цепных химических реакций, растворимости различных веществ в зависимости от условий.

Одна из основных задач демонстрационного эксперимента в данном случае – показать связь «лабораторных» реакций с различными природными процессами. Причём в зависимости от направления обучения (биология, медицина, география), упор делается на разные аспекты химического процесса. Так, например, для иллюстрации осмоса (биологи, медики, физики) демонстрируется силикатный сад и образование нерастворимых гексацианоферратов, для иллюстрации цепных процессов (географы, физики, геологи) демонстрируется взаимодействие водорода с кислородом, в качестве иллюстрации образования и растворения костной ткани, формирования камней в почках в зависимости от среды, разрушения горных пород (медики, биологи, геологи, географы) демонстрируется образование и растворение солей серебра, фосфатов и карбонатов кальция разной степени замещённости, для иллюстрации буферных сред живого организма демонстрируется работа фосфатного буфера.

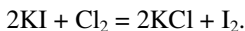
### **Тематические лекции с демонстрационным экспериментом**

Эксперимент может не только иллюстрировать какой-либо тезис лекции, но и явиться логической основой для самой лекции. Замечательным примером в этом отношении является цикл рождественских лекций Майкла Фарадея «Химическая история свечи», прочитанный в 1848 году и опубликованный в 1861 году. [4]. Поставив перед слушателями горящую свечу, и начав с обсуждения вопросов, почему свеча

горит, что такое пламя, любое ли пламя дает свет, Фарадей в шести беседах подробно и очень популярно рассказал о целом ряде химических и физических проблем, определяющих процессы горения. Для нас существенно то, что постановку проблемы почти во всех случаях Фарадей начинает с опыта. Он показывает: вот экспериментальный факт, какие наблюдения мы делаем, что нам понятно, а что нет, какая возникает проблема, давайте её рассмотрим и обсудим.

Конечно, в систематическом курсе лекций часто бывает полезнее сначала обсудить проблему, а затем проиллюстрировать сделанные выводы. Однако, если речь идёт об отдельной лекции, то «вытащить проблему из опыта» бывает и интересно и полезно. Крайне важно, что один и тот же набор опытов можно обсуждать по-разному в зависимости от состава слушателей. Например, нами в разных аудиториях (школьники разных классов, студенты разных курсов) рассматривалась серия опытов, иллюстрирующая реакцию иодида калия с хлором в различных условиях. Идея этой серии заключается в том, чтобы на опыте показать, как и почему могут меняться продукты реакции в зависимости от условий её проведения. Объяснение происходящего зависит от подготовленности аудитории.

Понятно, что во всех случаях в реакции может произойти только окисление иодид-иона элементарным хлором. Исходная реакция записывается без указания условий:



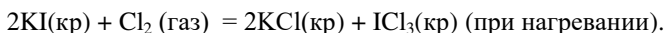
Вопрос: в каких реальных условиях можно провести эту реакцию и всегда ли будут получаться такие же продукты? Для ответа на этот вопрос можно провести серию из 7 опытов. Сначала посмотрим на процессы, протекающие без участия растворителя.

**Опыт 1.** Холодный иодид калия на стеклянной ложке вносится в атмосферу хлора. Белые кристаллы KI немедленно чернеют, покрываясь иодом.



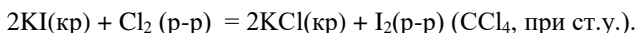
**Опыт 2.** Хорошо нагретый KI стряхивается со стеклянной ложки в атмосферу хлора. Вместо чёрных кристаллов иода образуется

трихлориодид, оранжево-красные кристаллы которого оседают на стенках цилиндра (стакана).



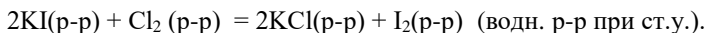
В следующем опыте процесс протекает в растворе инертного растворителя  $\text{CCl}_4$ .

**Опыт 3.** KI стряхивается со стеклянной ложки в раствор хлора в четырёххлористом углероде. Жидкость окрашивается в фиолетовый цвет, характерный для паров йода.

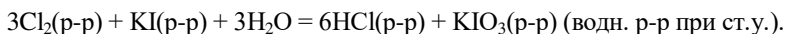


Весьма интересно протекает эта реакция в водном растворе. Можно рассмотреть два аспекта: а) что к чему добавлять, т.е. какой реагент находится в избытке и б) поскольку хлорная вода имеет кислую реакцию, можно рассмотреть влияние pH среды, т.е. провести исходную реакцию в заведомо кислой и щелочной средах.

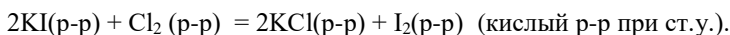
**Опыт 4.** Несколько КАПЕЛЬ хлорной воды добавляются к заметному (200–300 мл) объёму разбавленного раствора KI. Выделяется иод:



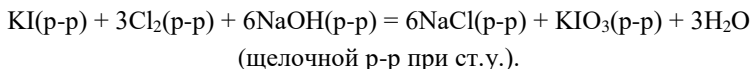
**Опыт 5.** Несколько КАПЕЛЬ разбавленного раствора KI при интенсивном перемешивании добавляются к заметному (200–300 мл) количеству хлорной воды. Раствор остается бесцветным.



**Опыт 6.** Подкисленная соляной кислотой хлорная вода добавляется к раствору KI. Выделяется иод. Результат аналогичен опыту 4, т.е. избыток кислоты не сказывается.



**Опыт 7.** Раствор KI подщелачивается и затем добавляется хлорная вода. Раствор остается бесцветным.



Закончить эти демонстрации можно исключительно эффективным опытом, демонстрирующим взаимодействие газообразного хлора с газообразным иодоводородом [2, опыт 191]. Взаимодействие часто со-

провождается вспышкой, а в разных частях системы образуются иод и трихлорид иода.

### **Детский праздник «Путешествие в удивительный мир химии»**

На химическом факультете Санкт-Петербургского государственного университета уже более 20 лет на весенних школьных каникулах проводится детский химический праздник. Рассчитан он на школьников младших классов, но приходят на него и старшие школьники и студенты, так что аудитория на 200 человек всегда набита до отказа.

Режиссура праздника строится следующим образом. Выбираются 10–15 эффектных демонстраций, для которых можно придумать некоторые смысловые переходы от одной к другой. Поскольку в данном случае демонстрации носят развлекательный характер, смысловые переходы могут быть не связаны с химической стороной дела. Конечно, количество эффектных опытов невелико и через два-три года приходится их повторять, но, меняя набор и последовательность опытов, можно создавать непохожие сценарии.

Вот пример серии опытов из такого сценария (*комментарии к опытам даны курсивом*). На столе поднос с семью стоящими в ряд «пустыми» стаканами (лучше литровыми). Край подноса загораживает днища стаканов. Стакан № 1 наполнен исходной бесцветной жидкостью «водой».

Ведущий. Во многих случаях химические реакции сопровождаются изменением окраски. Такие превращения используются при производстве красок, напитков, тканей и ещё много где. Мы покажем вам, как может меняться окраска. Берём первый стакан, в котором находится бесцветная жидкость и выливаем её во второй стакан. Получаем жидкость малинового цвета. Ну и что? Если ничего не делать, она так и будет малиновой. Но у нас много стаканов! Перельем её в следующий стакан – окраска пропала. Дальше – жидкость стала жёлтой. Дальше – розовой, дальше красной как кровь, а в последнем стакане чёрной, как туча. Если мы отольём немного чёрной тучи в колбу с водой, то мы получим голубое небо (*комментарий к опыту далее*).

Вот видите, как интересно. Но для изменения окраски не обязательно переливать жидкости из стакана в стакан. Химия умеет это делать ещё более интересно. В этой колбе у нас химический мёд. Он синий. И там же сидит голодный барабашка, который ест этот синий мёд. (*Окисление глюкозы кислородом воздуха в присутствии метилевого синего* [2, Опыт 89]). Смотрите, всё съел (*раствор обесцветился*). Придётся ему добавить мёда (*сильно взбалтываем жидкость, окраска снова появляется*). Ну вот, пусть ещё поест (*можно повторить несколько раз*).

Хорошо. Но всё-таки там надо переливать, здесь взболтать, пусть химия сама разбирается. Сейчас мы покажем, как химия умеет это делать (*взаимодействие сернистой и иодноватой кислот* [2, Опыт 75]). Химия мне шепнула, что справится за 10 секунд. (*Надо иметь ввиду, что в этом опыте помимо точности приготовления растворов определённую роль играет температура – в переполненной аудитории исходные растворы нагреваются, и время конца реакции уменьшается. Опыт очень эффектен, так как окраска появляется моментально и сразу по всему объёму*).

Правда, здорово! И всё-таки химия успела мне шепнуть, что она и не такое умеет. Подумаешь, один раз поменять окраску, или кормить голодного барабашку! Вот я покажу вам, как работает светофор (*Мерцающая колебательная реакция*, [2, Опыт 95, Примечание]). Да, конечно, цвета в светофоре другие, но ведь их можно и поменять. Конец этой серии.

*Комментарий к опыту со стаканами.* Это, конечно, больше фокус, но в его основе лежит игра с константами нестойкости комплексов железа.

Первый стакан полный. Содержит исходный раствор щёлочи, концентрация которой такова, чтобы при добавлении нескольких капель раствора фенолфталеина появилась отчётливая малиновая окраска.

Второй стакан содержит на дне несколько капель раствора фенолфталеина, концентрация которого такова, чтобы при добавлении содержимого первого стакана жидкость окрасилась в малиновый цвет.



Третий стакан содержит на дне несколько миллилитров раствора крепкой соляной кислоты, концентрация которой такова, чтобы после добавления содержимого второго стакана раствор стал кислый, а окраска исчезла.

Четвёртый стакан содержит на дне несколько миллилитров раствора трихлорида железа, концентрация которого такова, чтобы при добавлении содержимого третьего стакана вся жидкость окрасилась в жёлтый цвет.

Пятый стакан содержит на дне несколько миллилитров разбавленного раствора роданида калия, концентрация которого такова, чтобы при добавлении содержимого четвёртого стакана вся жидкость окрасилась в розовый цвет.

Шестой стакан содержит на дне несколько миллилитров концентрированного раствора роданида калия, концентрация которого такова, чтобы при добавлении содержимого пятого стакана вся жидкость окрасилась в кроваво-красный цвет.

Седьмой стакан содержит на дне несколько миллилитров раствора жёлтой кровяной соли, концентрация которой такова, чтобы при добавлении содержимого шестого стакана вся жидкость окрасилась практически в чёрный цвет. При выливании небольшого количества полученного раствора в большую колбу с дистиллированной водой жидкость окрашивается в небесно-голубой цвет.

Объёмы растворов, помещаемых в стаканы, не должны превышать 2–3 мл. Концентрации растворов подбираются экспериментально. При проведении демонстрации, крайне важно соблюдать определённый темп. Он должен дать возможность зрителям разглядеть происходящее, но не должен заставлять их ждать следующего превращения. Наиболее разумное время между переливаниями около 10 секунд. За это время ведущий успевает сказать одну-две коротких фразы.

### **Воспоминания А.Б. Никольского**

Мне довелось быть связанным с химическим демонстрационным экспериментом в течение нескольких десятков лет, сначала в качестве студента, а потом – лектора. Я думаю, что это даёт мне основа-

ние поделиться своими соображениями об особой роли и месте демонстрационного эксперимента в учебном процессе и о характере его воздействия на аудиторию.

Люди, давно окончившие наш химический факультет, много раз говорили мне, что из всего лекционного материала им больше всего запомнились опыты. При разговорах с нашими бывшими выпускниками выяснялось, что те, кому не приходилось в их деятельности напрямую использовать знание химии, сначала вспоминали лишь несколько опытов, но потом на этой основе всплывали многие основательные знания.

Мне хотелось бы проиллюстрировать эмоциональное воздействие наших демонстрационных экспериментов на следующих примерах.

В 2007 году я принимал участие во втором международном форуме по химическому образованию в Китае (2<sup>nd</sup> University Fundamental Courses Forum on Chemistry and Chemical Engineering, UFCFCCE) в ныне печально знаменитом Ухане. Мне пришлось рассказывать о постановке химического образования в Санкт-Петербургском университете после двух американских и двух наших московских профессоров в огромной и полностью заполненной аудитории на 2000 человек. Эта аудитория невольно напомнила мне самую большую площадь в мире Тяньаньмэнь и великую китайскую стену. Я начал свою лекцию перед полусонной аудиторией с того, что положил на попирт плоскую тарелку, любезно предоставленную мне ближайшим рестораном, а на неё – несколько кусочков тиоцианата ртути  $\text{Hg}(\text{SCN})_2$  и поджёг. Поползли «фараоновы змеи». Эффект превзошёл все мои ожидания – все повскакали с мест, стараясь лучше рассмотреть, и, как принято писать в газетах, долго не смолкающие аплодисменты, переходящие в овацию. Дальнейшая лекция прошла, как по маслу, несмотря на далеко не захватывающее содержание.

Случай второй. Летом 2011 года в самое отпускное время к нам в Петергоф приехала делегация Финского химического общества. Я должен был знакомить их с факультетом. Я попросил нашего главного

лекционного ассистента Надежду Павловну Федоренко показать гостям наши самые зрелищные опыты. Мы показали:

- тех же фараоновых змей [2, опыт 57];
- «химический вулкан» [2, опыт 56];
- «египетскую тьму» – взаимодействие сернистой и иодноватой кислот [2, опыт 75];
- окисление глюкозы кислородом воздуха в присутствии метиленового синего [2, опыт 89];
- каталитическое окисление аммиака на поверхности оксида хрома [2, опыт 91];
- горение нитроваты [2, опыт 260];
- обугливание сахара под действием серной кислоты [2, опыт 224];
- взрыв иодистого азота [2, опыт 239];
- мерцающую реакцию между пероксидом водорода, иодатом калия, хлорной и малоновой кислотами и сульфатом марганца [2, опыт 95, Примечание].

Серьёзные финские преподаватели на глазах помолодели – аплодировали, вскакивали с места, чтобы получше рассмотреть, и потом засыпали бесчисленными вопросами Надежду Павловну и меня.

### **Развитие демонстрационного эксперимента**

Демонстрационные эксперименты стали обязательной частью научного образования в университетах с начала девятнадцатого века. С тех пор демонстрационный эксперимент активно развивался. Можно выделить несколько путей такого развития:

- углубление и увеличение химической информации на примере уже известных опытов;
- модификация известных опытов, внедрение новых подходов, аппаратуры, химических реагентов;
- разработка новых демонстрационных экспериментов.

Напомним несколько классических опытов, часто называемых «химическими вулканами», которые заняли прочное место в списке демонстрационных экспериментов всех университетов мира. В 1843 году Рудольф Бёттгер получил дихромат аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ . Новое кри-

сталлическое вещество ярко-оранжевого цвета не реагировало на удары, растворялось в воде. Однако при поджигании небольшой кучки этого вещества начинала проходить реакция «извержения вулкана», которая известна сейчас всем школьникам, начинающим изучать химию [2, опыт 56]. В 1898 году немецкий инженер-металлург Ганс Гольдшмидт изобрел способ выплавки металлов из их оксидов с помощью алюминия как восстановителя. Смесь порошкообразных алюминия и оксида выплавляемого металла он назвал термитом. Следует отметить, что учебное наполнение при демонстрации каждого из указанных опытов может различаться. При их демонстрации преподаватели могут рассказывать как о тепловом эффекте реакции, так и об окислительно-восстановительных свойствах соединений.

Модификация известных демонстрационных экспериментов, применение новой аппаратуры или реактивов активно используется преподавателями химии. Можно вспомнить нитратно-угольный «вулкан» – взаимодействие кусочка углерода с расплавленным нитратом калия. Сейчас в большинстве образовательных учреждений данный эксперимент модифицирован заменой нитрата калия хлоратом, а кусочка угля жевательным мармеладом в виде мишки. Реакция каталитического разложения пероксида водорода демонстрируется в высоком цилиндре с добавлением в реакционную смесь поверхностно-активных веществ (растворов моющих средств). При такой модификации опыта, называемой «Слоновья зубная паста», большое количество выделяющегося газа становится видно благодаря огромной струе пены, вырывающейся из сосуда.

Развитие химической науки привнесло и всё время приносит новые демонстрационные эксперименты. Колебательные реакции Белоусова-Жаботинского (1951) или Бриггса-Раушера (1971) сейчас демонстрируются при обсуждении кинетики химических реакций и автокаталитических процессов. Синтез коллоидных квантовых точек – наночастиц селенида кадмия – методом горячего впрыска (инъекции) в высококипящем растворителе был предложен в 1992 году К. Мюрреем. В этом опыте можно обсуждать как термодинамический и кине-

тический контроль реакции, так и теорию зародышеобразования, стадии роста кристаллов.

Развитие химической науки в области демонстрационных экспериментов нельзя представить без всемирного обмена знаниями и разработками в этой области. Среди них стоит отметить Бассама Шахашири, издавшего сборник из пяти томов под названием «Химические демонстрации: пособие для учителей химии» [5], который содержит большое количество описаний химических демонстраций по разным разделам химии. В двенадцати главах описаны почти 300 демонстрационных опытов. Каждая демонстрация состоит из семи разделов: краткое резюме, список материалов, пошаговый отчёт о применяемых процедурах, объяснение связанных с этим опасностей, информация о том, как хранить или утилизировать использованные химические вещества, обсуждение отображаемых явлений и принципов, иллюстрируемых демонстрацией, и список литературы. Сборник [5] не является единственным изданием о демонстрационных экспериментах. Следует упомянуть такие издания, как «Демонстрации классической химии» [6], «Впечатляющие химические эксперименты» [7], «Химические демонстрации: сборник для учителей (в двух томах)» [8, 9].

Наметившаяся в последнее время тенденция перехода к онлайн-образованию приводит к необходимости переноса демонстрационных экспериментов в цифровую среду. В случае онлайн-курса демонстрационные эксперименты являются единственной возможностью слушателя увидеть реальные соединения и процессы, обсуждаемые в ходе видеолекции. На кафедре общей и неорганической химии СПбГУ ведётся систематическая работа по созданию онлайн-курсов, включающих оригинальные демонстрационные эксперименты. Так, для курса «Неорганическая химия: Введение в химию элементов» [10], реализуемого на платформах НП «Открытое образование», Stepik, Coursera, нами были подготовлены, записаны и озвучены видеофайлы 67 демонстрационных опытов, иллюстрирующих различные аспекты неорганической химии. Следует отметить, что демонстрационные эксперименты доступны не только как часть лекции, но и как отдель-

ные файлы, что позволяет слушателю в любое время быстро найти и посмотреть конкретный опыт. Преимуществом видеозаписи опыта является возможность как снять быстро протекающие реакции в замедленном режиме (для акцентирования внимания на конкретном моменте), так и ускорить при монтаже эксперименты, требующие длительного времени. Кроме того, запись опытов с использованием двух камер (общий план и область реакции) позволяет при монтаже опыта обратить внимание слушателя на конкретные детали эксперимента. Опыты, сопровождающиеся звуковыми эффектами, записывались с «живым» звуком профессиональным звукооператором.

Подобный подход осуществлён нами и для курса «Строение вещества: от атомов и молекул до материалов и наночастиц», работа над которым заканчивается в настоящее время. Для этого курса подготовлены, записаны и озвучены 42 видеоопыта, в том числе были воссозданы исторические эксперименты по строению атома (трубка Крукса, свечение газоразрядных трубок, урановое стекло, радиоактивность), опыты по магнитным свойствам веществ (парамагнетизм жидкого кислорода, магнетизм металлов), опыты, иллюстрирующие основные законы атомно-молекулярной теории. Курс будет выпущен и реализован на платформах НП «Открытое образование» и платформе СПбГУ в 2020 году.

### **Заключение**

- Демонстрационный эксперимент исключительно важен не только для курсов общей и неорганической химии, но и для многих других.
- Материал усваивается легче и запоминается прочнее, чем только со слуха или при чтении текста.
- Демонстрации учат планированию и технике выполнения экспериментов.
- Демонстрации вызывают положительные эмоции, повышают заинтересованность по отношению не только к данному предмету, но и к научным исследованиям в целом.

## Благодарности

Авторы выражают глубокую благодарность ведущему инженеру СПбГУ Надежде Павловне Федоренко за многолетнюю работу по подготовке и проведению демонстрационных экспериментов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Д.И. Менделеев*. «Избранные лекции по химии», М.: Высшая Школа, 1968. – С. 224 с.
2. *М.А. Иванова, М.А. Кононова*. Химический демонстрационный эксперимент. Под ред. С.А. Щукарёва. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1984. – 208 с.
3. *М. А. Иванова, М. А. Кононова*. Химический демонстрационный эксперимент. Под ред. С. А. Щукарёва. – М.: Высшая школа, 1969. – 248 с.
4. *M. Faraday*. A Course of Six Lectures on the Chemical History of a Candle. W. Crookes (ed.). Griffin, Bohn & Co. 1861, 226 p.
5. *B. Z. Shakhshiri*. Chemical Demonstrations: A Handbook for Teachers of Chemistry," Vol. 1 (1983); Vol. 2 (1985); Vol. 3 (1989); Vol. 4 (1992); Vol. 5 (2011), University of Wisconsin Press, Madison, WI.
6. *T. Lister*. Classic chemistry demonstrations, RSC, 1995, 106 p.
7. *H. W. Roesky, G. A. Olah*. Spectacular Chemical Experiments, 2007, Weinheim: Wiley-VCH, 240 p.
8. *L. R. Summerlin, J. L. Ealy*. Chemical Demonstrations: A Sourcebook for Teachers Vol. 1, ACS, 1988, 200 p.
9. *J. L. Ealy, C. L. Borgford, J. B. Ealy*. Chemical Demonstrations: A Sourcebook for Teachers Vol. 2, ACS, 1988, 233 p.
10. *А.Ю. Тимошкин, Т.Н. Севастьянова, М.Ю. Скрипкин, С.М. Шугуров, В.Д. Хрипун*. Опыт реализации онлайн курса «Неорганическая химия: Введение в химию элементов»// Естественнонаучное образование: информационные технологии в высшей и средней школе. Сборник под общей ред. проф. Г.В. Лисичкина, М.: Издательство Московского университета, 2019. – С. 106–127.