

ФОРМИРОВАНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ КОМПЕТЕНЦИЙ В ОБЛАСТИ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК У СТУДЕНТОВ, ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО СПЕЦИАЛИЗАЦИИ «АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ», ПРИ ИЗУЧЕНИИ КУРСА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

**Четверикова А.Г., Узенбаев В.Г., Осипова Е.А., Дюсенов А.И.
Оренбургский государственный университет, г. Оренбург**

В курсе общей физики предусмотрены классические методы изучения фундаментального предмета: лекции, практические занятия по решению задач и лабораторные занятия.

На всех видах занятий обучающиеся начинают развивать общепрофессиональные компетенции, например, способность использовать теоретические основы фундаментальных разделов математики и физики в профессиональной деятельности (ОПК-3). [1]

Характерной особенностью физики и химии как учебных предметов является такое изучение явлений, при котором познание качественных сторон обязательно сочетается с определениями количественных соотношений, характеризующих данное явление. Таким образом, если привлечь студентов к решению конкретной экспериментальной задачи, то в этом случае изучение того или иного физического явления или закона приобретает для них особую профессиональную значимость, вызывая повышенный интерес к предметам. Важным достоинством экспериментальных задач является непосредственная связь с реальными событиями.

Одной из задач обучения является формирование стиля научного мышления студентов, структурирование физического знания и обработки этих отдельных структур. В число структур как составной элемент входит и научный факт. Основной задачей химии и физики как экспериментальных наук является самостоятельное открытие такого научного факта.

Учебно-исследовательская работа учит студентов раскрывать суть явлений, выделять главное, позволяет вырабатывать навыки системного подхода к изучаемому материалу, творчески подходить к его разработке и интерпретации.

На наш взгляд, в настоящее время сложились условия, которые позволяют формировать у студентов современные исследовательские компетенции на междисциплинарном уровне, например, при изучении физико-химических явлений.

Использование интернет-ресурсов в процессе обучения позволяет получить многопрофильную информацию, наглядные иллюстрации по многим природным явлениям, а также, инструкции или описания экспериментов по исследованию соответствующих явлений. Студенты, обработав эту информацию, формируют свои исследовательские цели и задачи, создают экспериментальные методы и установки, приходят к научным выводам и подготавливают свои первые серьезные публикации. Следовательно, на базовом уровне начинают реализовываться и профессиональные компетенции:

способность применять основные естественнонаучные законы при обсуждении полученных результатов (ПК-4), готовность представлять полученные в исследованиях результаты в виде отчетов и научных публикаций (стендовых докладов, рефератов и статей в периодической научной печати) (ПК-7). [1]

Например, перед студентом 1-го курса, обучающимся по специальности «Фундаментальная и прикладная химия» была поставлена цель подобрать материал по колебательным процессам (раздел курса общей физики), проявляющимся в химических процессах (курс неорганической химии), т.е. сочетание химического эксперимента, методов физической регистрации. В результате сформировались компетентностно-ориентированные задачи общепрофессионального цикла:

- систематизация материала по автокаталитическим реакциям;
- воспроизведение приведенного в литературе эксперимента в лабораторных условиях;
- экспериментальное исследование автокаталитических колебательных реакций на примере реакции Белоусова-Жаботинского.

Актуальность научно-исследовательской работы студента химико-биологического факультета А. Дюсенова заключается в том, что к настоящему времени реакция Белоусова-Жаботинского занимает достойное место в мировой науке, особенно в ее новой перспективной области – синергетике. Экспериментальные работы в данном направлении инициировали развитие современной теории динамических систем. Под динамической системой понимают любой объект или процесс, для которого однозначно определено состояние как совокупность некоторых величин в данный момент времени и задан закон, описывающий его эволюцию.

Важную группу динамических систем представляют системы, в которых возможны колебания. Колебательные системы с точки зрения их математических моделей разделяют на определенные классы. Различают линейные и нелинейные колебательные системы, сосредоточенные и распределенные, консервативные и диссипативные, автономные и неавтономные. Особый класс представляют так называемые автоколебательные системы. Основные свойства указанных систем подробно обсуждаются в работах по теории колебаний.

Колебательная система называется *линейной* или *нелинейной* в зависимости от того, линейна или нелинейна описывающая ее система дифференциальных уравнений. Линейные системы являются частным случаем нелинейных. Однако в силу принципиальной важности линейных систем при исследовании вопросов устойчивости колебаний, а также возможности использования принципа суперпозиции решений такая классификация оправданна. Динамические системы с изменяющимся во времени запасом энергии называются *неконсервативными*. Большинство реальных колебательных систем в физике, радиофизике, биологии, химии и других областях знаний неконсервативны. Среди них выделяется особый класс *автоколебательных* систем, которые принципиально неконсервативны и нелинейны. Автоколебательной называют динамическую систему,

преобразующую энергию источника в энергию незатухающих колебаний, причем основные характеристики колебаний (амплитуда, частота, форма колебаний и т.д.) определяются параметрами системы и в определенных пределах не зависят от выбора исходного начального состояния.

Автокатализом называется ускорение реакции, обусловленное накоплением конечного или промежуточного продукта, обладающего каталитическим действием в данной реакции. Скорость автокаталитической реакции вначале возрастает вследствие увеличения количества продукта, являющегося катализатором, а затем падает в результате расходования исходных веществ.

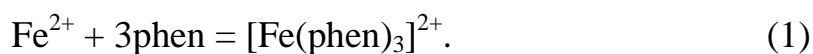
Б.П. Белоусов проводил исследования цикла Кребса, пытаясь найти его неорганический аналог. В результате одного из экспериментов в 1951 году, а именно окисления лимонной кислоты броматом калия в кислотной среде в присутствии катализатора — ионов церия Ce^{3+} , он обнаружил автоколебания. Течение реакции менялось со временем, что проявлялось периодическим изменением цвета раствора от бесцветного (Ce^{3+}) к жёлтому (Ce^{4+}) и обратно. Эффект был ещё более заметен в присутствии рН индикатора - ферроина. [2]

Белоусов провел достаточно подробное исследование этой реакции и выяснил, что период колебаний (10–100 с) существенно уменьшается с повышением кислотности среды и температуры, поэтому реакция оказалась наглядной и удобной для лабораторных исследований. До этого открытия считалось, что автоколебания в химических системах невозможны. Спустя некоторое время изучением механизма реакции Белоусова занимался другой ученый А.М. Жаботинский. Особенностью работ Жаботинского и его коллег было сравнение экспериментальных записей колебаний с кривыми, которые получались при компьютерном моделировании. Группа Жаботинского провела подробные исследования реакции, включая её различные варианты.

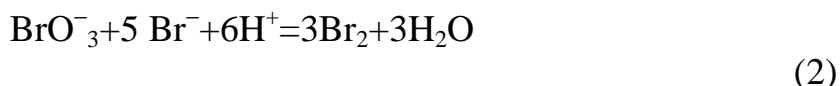
Белоусов использовал лимонную кислоту, а в качестве пары окислитель–восстановитель – производные церия. Ученик и сотрудник Белоусова А.П. Сафронов посоветовал добавить в раствор комплекс железа с фенантролином. В этой ситуации окраска эффектно изменялась: с лилово-красной – в ярко-синюю. Жаботинским, который занялся подробным изучением механизма реакции, было окончательно показано, что автоколебательная реакция может осуществляться и в том случае, когда лимонная кислота заменена любой другой дикарбоновой кислотой с активной метиленовой группировкой, а каталитическая редокс-пара $\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}$ заменена парой $\text{Mn}^{3+}/\text{Mn}^{2+}$ или, как уже использовалось Белоусовым, парой ферроин/ферриин. Наиболее изящно, эстетически зрелищно выглядела колба, если использовали малоновую кислоту, а вместо ионов церия ионы железа Fe^{2+} . Тогда раствор в колбе может часами со строгой периодичностью изменять цвет во всем видимом диапазоне от рубиново-красного до небесно-голубого. Брутто-формула реакции выглядит достаточно просто, однако реакция протекает более чем в 20 стадий и соответственно с образованием такого же количества промежуточных продуктов.

Рассмотрим БЖ-реакцию (реакцию Белоусова-Жаботинского),

приведенную в самой цитируемой в данной области знаний статье [3]. Для того чтобы ее осуществить, готовят два раствора – А и Б. А – раствор ферроина (комплекс двухвалентного железа с о-фенантролином (phen) – $[\text{Fe}(\text{phen})_3]^{2+}$), который может быть приготовлен заранее:



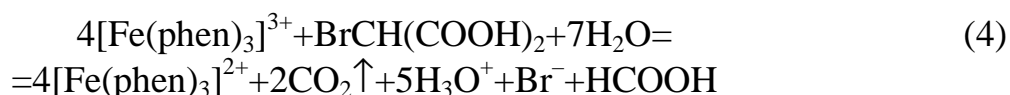
Неустойчивая броммалоновая кислота (раствор Б) готовится непосредственно перед началом эксперимента:



Для непосредственной демонстрации опыта в чашку Петри последовательно вносят с помощью пипеток насыщенный раствор бромата калия, раствор броммалоновой кислоты и раствор ферроина. В течение нескольких минут на красном фоне в чашке появляются голубые участки. Это обусловлено образованием другого комплекса ферроина $[\text{Fe}(\text{phen})_3]^{3+}$ при окислительно-восстановительной реакции комплекса ферроина $[\text{Fe}(\text{phen})_3]^{2+}$ с бромат-ионами:



Этот процесс протекает с автоускорением. Затем образующийся комплекс $[\text{Fe}(\text{phen})_3]^{3+}$ окисляет броммалоновую кислоту с образованием бромид-ионов:



Выделяющиеся бромид-ионы являются ингибиторами реакции окисления комплекса железа²⁺ бромат-ионами (3). Только когда концентрация $[\text{Fe}(\text{phen})_3]^{2+}$ становится достаточно высокой, ингибирующее действие бромид-ионов преодолевается, и снова начинают протекать реакции получения броммалоновой кислоты и окисления комплекса. Процесс повторяется снова, и это отражается в окраске раствора. От голубых участков в чашке во все стороны расходятся концентрические круговые красно-голубые «волны» окраски. Полный список элементарных стадий реакции очень сложен и составляет почти сотню реакций с десятками веществ и интермедиатов. До сих пор подробный механизм неизвестен, особенно константы скоростей реакций.

Если содержимое чашки перемешать стеклянной палочкой, то раствор на непродолжительное время станет одноцветным, а потом периодический процесс повторится. В конце концов реакция прекращается из-за выделения диоксида углерода.

Для проведения научного эксперимента в лабораториях ОГУ студенту

понадобились:

- яблочная кислота $C_4H_6O_5$, т.к. образующаяся в реакции (2) броммалоновая кислота $6BrCH(COOH)_2$ весьма нестабильна,
- серная концентрированная кислота H_2SO_4 ,
- ферроин (редокс-индикатор),
- бромат калия $KBrO_3$,
- химический стакан и часовое стекло.

На первом этапе навеска яблочной кислоты массой 40 г растворяется в 160 мл дистиллированной воды. Отдельно подготавливаются навески ферроина и бромата калия массами 3,5 г и 16 г соответственно.

На втором этапе, к раствору яблочной кислоты, предварительно нагретому до 40...50 °С, добавляется навеска бромата калия. На 3-ем этапе, поставив стакан с полученным соединением на белый лист бумаги, в него добавляем в навеску ферроина и несколько капель серной кислоты.

На фоне белого листа бумаги сразу же наблюдается изменение окраски раствора с красной на синюю и обратно с периодом $T=30...40$ с (рис. 1).



Рисунок 1 – Окрашивание раствора в исходный момент (а), через $T/4$ (б) и $T/2$ (в)

По истечении 8 минут колебания затухают, и изменение окраски раствора прекращается, свидетельствуя об установлении химического равновесия в системе между исходными веществами и продуктами реакции.

Отметим основные моменты, без которых описанный колебательный процесс был бы невозможен.

Во-первых, кооперативное поведение молекул в растворе невозможно без обратной связи. Если описывать колебательные химические реакции в терминах «хищник–жертва», то роль «хищников» выполняют промежуточные продукты, которые замедляют или совсем блокируют отдельные стадии процесса, – ингибиторы. Роль «жертв» выполняют катализаторы, которые ускоряют ход реакции. Хотя, как известно, сами молекулы катализатора (Fe) не расходуются в реакции, но соотношение концентраций ионов $[Fe^{2+}]/[Fe^{3+}]$, как показали исследования, претерпевает сложную эволюцию. Эта упрощенная схема позволяет в общих чертах представить молекулярный механизм обратной связи в растворе.

Во-вторых, колебательный процесс невозможен без источника энергии, В реакции Белоусова–Жаботинского источником энергии служит органическая малоновая кислота. Действительно, при ее полном окислении колебания в реакции затухают, а затем и сама реакция прекращается. В настоящее время

кинетика колебательных реакций – бурно развивающаяся отрасль знаний, возникшая на стыке химии, биологии, медицины, физики, математики.

Затруднения, с которыми столкнулись студенты при первых попытках реализации БЖ-реакции, были подбор доступных реагентов, обуславливающих малый коэффициент затухания и удовлетворительную наглядность. После преодоления проблем, сделаны выводы, что физическая (неудачно подобранная температура) и химическая (низкая концентрация) причины не обеспечивают стабильное протекание реакции в течение длительного времени. Студенты ставили и решали проблемные для себя теоретические, экспериментальные, организационные, аналитические задачи на каждом этапе своей работы. Как результат, работа получила свое развитие.

Освоив электромагнетизм и оптику (разделы общей физики) и методы анализа веществ (аналитическая химия) студенты поставили очередную задачу: устранить вышеописанные недостатки и проверить влияние физических полей на скорость и устойчивость протекания БЖ-реакции.

Список литературы

1. Проект приказа «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки (специальности) 04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия (уровень специалитета)». Режим доступа: http://www.osu.ru/docs/fgos/proekt/spec_04.05.01.doc

2. Прилепская, Л.Л. К 60-летию открытия колебательных реакций / Л.Л. Прилепская, Е.Ю. Старикова // Вестник Кузбасского государственного технического университета. Химические технологии. – 2012. - №1(89). – С.111-113.

3. Белоусов, Б.П. Периодически действующая реакция и ее механизм / Б.П. Белоусов // Сб. науч. тр. Автоволновые процессы в системах. – Горький: Изд-во ГГУ, 1981. – С. 176-186.