

РОЛЬ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ТРАНСДУКЦИИ НА ПРИМЕРЕ РЕАКЦИИ БЕЛОУСОВА-ЖАБОТИНСКОГО В ФОРМИРОВАНИИ ОПК СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТИ «АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ»

**Четверикова А.Г., Узенбаев Ф.Г., Чигринаева Н.А., Абрамова В.В.
Оренбургский государственный университет, г. Оренбург**

Наука является блестящим достижением человечества, но в деле ее понимания не обходится без существенных затруднений. В настоящее время сложились условия, которые требуют формирования у студентов современных исследовательских компетенций на междисциплинарном уровне, в частности, при изучении физико-химических явлений. Явление это философская категория, обозначающая внешние, наблюдаемые, обычно наиболее подвижные и изменчивые характеристики предметов и процессов; явление может служить активатором когнитивного процесса, приводящего к пониманию сущности элементов, составляющих научную картину мира [1]. В данном случае имеется ввиду научная картина мира, составляемая близкими семантическими науками – физикой и химией. Родственные связи обеих наук заложены в их определениях: в физике важнейшее значение придается концепту взаимодействия, в химии - концепту химической реакции. Законы физических взаимодействий и химических реакций не зависят от людей. Связь между этими науками осуществляется трансдукцией (перемещением) - видом опосредованного умозаключения, в котором посылки и вывод имеют одинаковую степень общности. Примером трансдуктивного умозаключения является аналогия [2-4]. Изучение физико-химических трансдукций при обучении студентов – химиков физике, как показывает наша практика, чрезвычайно полезно и в теоретическом и в прагматическом смыслах.

Согласно учебному плану специальности «Фундаментальная и прикладная химия» студенты при изучении физики должны овладеть общепрофессиональными (ОПК-3) и профессиональными компетенциями (ПК-4) [5]. Компетенция ОПК-3 – это способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности. Химик-специалист должен знать физические явления и основные законы физики, границы их применимости, применение законов в важнейших практических приложениях. Он обязан уметь истолковывать смысл физических величин и понятий и владеть навыками использования основных общезначимых законов и принципов в важнейших практических приложениях. ПК – 4 отвечает за способность применять основные естественнонаучные законы и закономерности развития химической науки при анализе полученных результатов, т.е. умение объяснить основные наблюдаемые природные и техногенные явления и эффекты с позиций фундаментальных физических взаимодействий.

Использование интернет-ресурсов в процессе обучения позволяет студентам получить многопрофильную информацию, наглядные иллюстрации

по многим природным явлениям, а также инструкции или описания экспериментов по их исследованию. Студенты, обработав эту информацию, формируют свои исследовательские цели и задачи, предлагают свои экспериментальные методики и установки, приходят к научным выводам и подготавливают первые собственные публикации. Следовательно, на базовом уровне начинают реализовываться и другие профессиональные компетенции: готовность представлять полученные в исследованиях результаты в виде отчетов и научных публикаций (стендовых докладов, рефератов и статей в периодической научной печати) (ПК-7) [5].

Для современной науки о материалах необходимо всестороннее исследование самых разнообразных неравновесных систем и их взаимодействия с внешней средой, в том числе автоколебательных химических систем с протеканием реакции Белоусова-Жаботинского (реакции Б-Ж) [6]. Реакция Белоусова-Жаботинского занимает достойное место в мировой науке, особенно в ее новой перспективной области – синергетике [7].

Поэтому перед студентами 2-го курса была поставлена цель подобрать материал по колебательным процессам (раздел курса общей физики), проявляющимся во время химической реакции. Ранее студентами этой же специальности проводились исследования по моделированию воздействия некоторых факторов [8] на системы с участием колебательных реакций.

В результате сформировались компетентностно-ориентированные задачи:

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

Для проведения эксперимента авторы воспользовались возможностями лабораторий кафедр химии и общей физики ОГУ. Реакция Б-Ж, как известно [9], является жидкофазной колебательной реакцией с возбудимой кинетикой. В процессе реакции раствор периодически приобретает одну и ту же окраску. Из множества существующих вариантов [10, 11] была выбрана одна из самых ярких реакций, получившая название «химический светофор» следующего состава:

- гидроксид натрия NaOH,
- глюкоза $C_6H_{12}O_6$,
- индигокармин (редокс-индикатор).

Навеску гидроксида натрия массой 2,2 г растворили в 100 мл дистиллированной воды. Отдельно подготовили навески глюкозы и индигокармина массами 2 г и 0,001 г соответственно. Затем к раствору глюкозы, предварительно нагретому до 80...90 °С, добавили 20 мл гидроксида натрия. В колбу с раствором индигокармина, стоящую на белом листе бумаги, добавили раствор глюкозы и гидроксида натрия [10, 11].

На белом фоне бумаги сразу же наблюдается изменение окраски раствора "зеленый – красный – желтый" с периодом $T \approx 20$ с. На рисунке 1 представлены

фотографии растворов в разные моменты протекания реакции. При следующем взбалтывании реакция повторяется, однако ее интенсивность падает (цвета становятся менее насыщенными), а время протекания уменьшается почти в два раза.



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

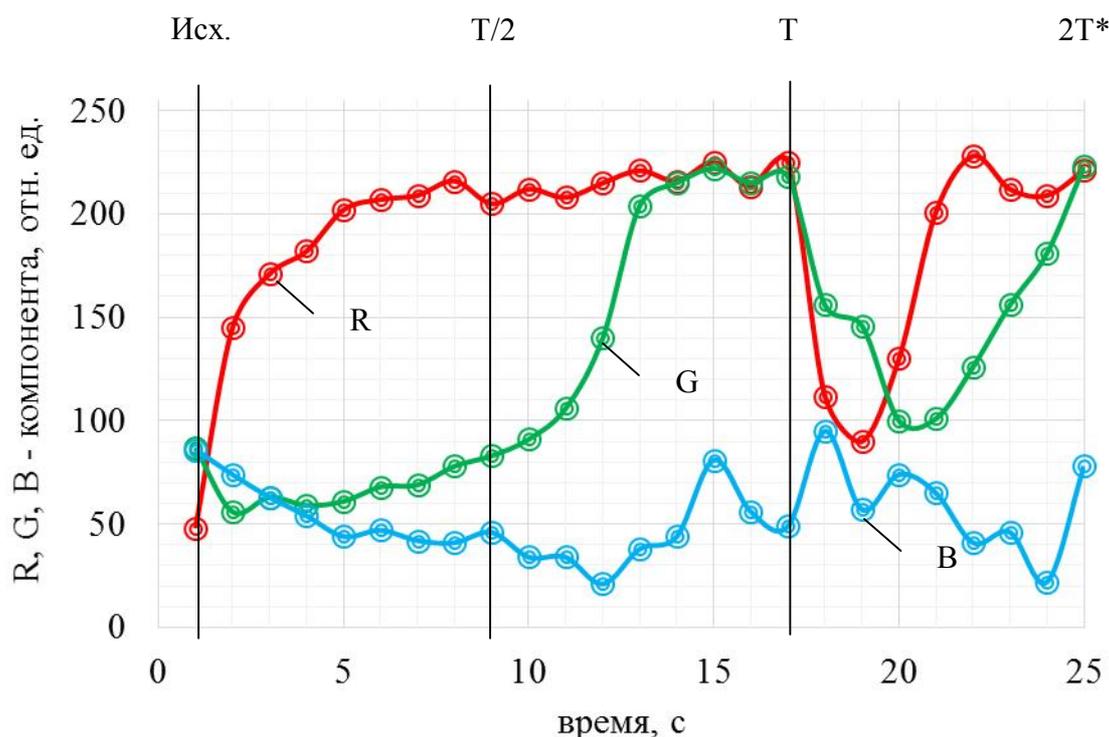
По истечении 25-30 секунд автокатализ полностью завершается, изменение окраски раствора прекращается, что свидетельствует об установлении химического равновесия в системе между исходными веществами и продуктами реакции.

Далее студенты определили комплекс экспериментальных методик для исследования эволюции физических и химических свойств системы, в которой развиваются Б-Ж реакции.

За цвет вещества отвечает электронная структура составляющих его молекул, в первую очередь величина интервала между энергетическими уровнями, поэтому цветовые характеристики будут отражать структурные превращения внутри системы [12]. Если раствор имеет (отражает) преимущественно зеленый цвет, то поглощать оно будет преимущественно красный. Иными словами, от того, какой цвет раствор будет поглощать, зависит то, как он будет окрашен. Исследования поглощательной способности раствора возможно было бы провести на длинах волн 540 и 670 нм на колориметре фотоэлектрическом концентрационном КФК - 2МП. Этот колориметр предназначен для измерения в отдельных участках диапазона длин волн 315-980 нм, выделяемых светофильтрами, коэффициентов пропускания и оптической плотности жидкостных растворов и прозрачных твердых тел, а также измерения концентраций веществ в растворах. Погрешность колориметра при изменении температуры окружающего воздуха от 10 до 35°C не превышает 0,5 %. Оказалось, что такой эксперимент не возможен из-за весьма слабого окрашивания раствора в кювете, т.е. слабого окисления индикатора кислородом, который содержится в воздухе. Зависимость от формы и объема сосуда обусловлена тем, что реакции разложения, как правило, происходят на стенках сосуда [13]. Поэтому разное отношение между объемом сосуда и его внутренней поверхностью сказывается на характере колебаний.

Наблюдение и видеосъемка изучаемого процесса, как и в работе [6], осуществлялась при помощи веб-камеры и компьютера. Результаты съемки записывались на жесткий диск компьютера в режиме on-line. Затем в режиме

off-line цвет в анализируемых точках разлагался на RGB – составляющие. Полученные таким способом результаты использовались для качественного



анализа автоволновых процессов. На рисунке 2 представлены развертки по времени составляющих RGB – разложения в центральной области колбы.

Рисунок 2 – Временные развертки компонент RGB – разложения в центральной области колбы

Значения компонент цветового треугольника качественно хорошо согласуется с наблюдаемым окрашиванием раствора. На рисунке 2 видно, что синяя составляющая слабо меняется в процессе реакций, в то время как красная и зеленая составляющие весьма чувствительны к состоянию системы и также проявляют периодичность. На 17-ой секунде реакция останавливается и после резкого встряхивания с 18-ой секунда начинается заново, однако время ее протекания сокращается до 7-9 секунд.

Б-Ж реакция связана с изменением потенциала системы. Измерение потенциала удобно проводить на приборе ЭКОТЕСТ 2000 с электродами марки ЭПВ 1СВ. Анализаторы жидкости многопараметрические ЭКОТЕСТ – 2000, предназначены для измерения показателя активности (pH, pX) и массовой (C) или молярной (Cm) концентрации ионов, окислительно-восстановительного потенциала (Eh), температуры (T) и концентрации растворенного кислорода (O₂) в воде и водных средах.

Измерение величины pX (pH) и концентрации C ионов в водных растворах производится потенциометрическим методом при помощи ионоселективных электродов. Метод заключается в измерении разности потенциалов измерительного электрода и электрода сравнения в растворе.

Зависимость э.д.с. электродной системы от измеряемой активности определяемого иона без применения термокомпенсации описывается уравнением Нернста:

$$\varphi = \varphi_0 + S \cdot \text{pX}$$

где φ - разность потенциалов между измерительным и вспомогательным электродами (э.д.с.), мВ;

φ_0 - значение разности потенциалов электродной системы в начальной точке диапазона измерений, мВ;

S - угловой коэффициент наклона электродной функции, величина которого зависит от температуры раствора (теоретическое значение при 20 °С равно 58,16 мВ/рХ для однозарядных ионов);

$$\text{pX} = -\lg(kC)$$

здесь C - молярная концентрация;

k - коэффициент активности.

За три цикла потенциал периодически менялся, причем наибольшие изменения зафиксированы во время первого цикла: от -197 до -705 мВ.

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.

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

В результате проведенного исследования студенты получили для себя дополнительные штрихи в научной картине мира, целостной системе представлений об общих свойствах и закономерностях природы. Они ознакомились с одним из основных методов исследования - индукцией, позволяющей проследить связи от единичного к общему, от отдельных фактов, полученных в ходе эксперимента, к их обобщению. Собственноручно спланированный и выполненный успешно эксперимент помог им уяснить сущность эффектной красочной реакции Б-Ж и сформировать свою концепцию и трактовку этого процесса, очередной раз убедившись в неразрывности физики и химии.

Список литературы

1. Канке В. А. *Философия математики, физики, химии, биологии: учебное пособие* / В. А. Канке. – Москва : КНОРУС, 2011. - 368 с. - ISBN 978-5-406-00543-9.

2. Сунцов, Н. Н. *Философские проблемы естествознания и техники*

[Текст] / Н. Н. Сунцов, Г. И. Хорошко, Э. А. Правдина. - Минск : Вышэйш. шк., 1975. - 104 с.

3. *Философские проблемы естествознания [Текст] : учеб. пособие для филос. и естест. фак. ун-тов / С. Т. Мелюхин, Ю. А. Петров, Г. И. Рузавин; под ред. С. Т. Мелюхина. - М. : Высш. шк., 1985. - 400 с.*

4. *Тематический глоссарий по философии: для студентов всех специальностей университета / сост. А. В. Климович, Л. В. Перевалова, В. А. Степанович – Брест: Изд-во БрГУ им. А.С. Пушкина. 2010. – 57 с. Режим доступа: <http://tnu.podelise.ru/docs/index-292692.html>*

5. *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*

6. *Лебедев, В. М. Эффекты воздействия пучка альфа-частиц с энергией 30МэВ на протекание реакции Белоусова-Жаботинского / В. М. Лебедев, А. Б. Приселкова, А. В. Спасский, К. А. Труханов // Перспективные материалы. – 2006. - № 4. – С. 11-16.*

7. *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.*

8. *Четверикова, А. Г. Формирование исследовательских компетенций в области естественных наук у студентов, обучающихся по специализации «Аналитическая химия», при изучении курса общей физики / А. Г. Четверикова, В. Г. Узенбаев, Е. А. Осипова, А. И. Дюсенов // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры [Электронный ресурс]: материалы Всероссийской научно-методической конференции (с международным участием); Оренбург. гос. ун-т. - Электрон. дан. - Оренбург: ОГУ, 2015. – С. 1112-1116.*

9. *Жаботинский, А. М. Концентрационные колебания / А. М. Жаботинский. – Москва: Наука, 1974. – 179 с.*

10. *Субботина, Н. А. Демонстрационные опыты по неорганической химии / Н. А. Субботина, В. А. Алешин, К. О. Знаменков; под редакцией академика Ю. Д. Третьякова // Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений – Москва: Издательский центр "Академия", 2008. - 288 с. - ISBN 978-5-7695-4271-8.*

11. *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.*

12. *Савельев, М. И. Химия цвета / М. И. Савельев // Потенциал. Химия, Биология, Медицина. – 2011. - № 1 (январь). – С. 5-13.*

13. *Морозова, Н. И. Колебательные реакции / Н. И. Морозова // Потенциал. Химия, Биология, Медицина. – 2011. - № 3 (март). – С. 61-63.*