

Фестиваль творческих открытий и инициатив «Леонардо»

Секция химия

Колебательные реакции в условиях школьной лаборатории

Исследовательская работа

Осадчий Артём Сергеевич,

обучающийся 10 класса

МОУ «Лицей №230» г.Заречного

Пензенской области

Научный руководитель –

Лагунова Ольга Викторовна

г.Заречный, 2020 г

Содержание

Введение	2
Глава I. Колебательные реакции	3
1.1 История открытия колебательных реакций	3
1.2 Применение колебательных реакций	4
1.3 Причины возникновения колебательных реакций	5
Глава 2. Экспериментальная часть	6
Выводы	8
Заключение	9
Список литературы	10
Приложения	11

Введение

Химия — одна из самых удивительных наук, важнейшая область естествознания, наука о веществах, их составе и строении, их свойствах, их превращениях, ведущих к изменению состава — химических реакциях, а также о законах и закономерностях, которым эти превращения подчиняются. Существуют много разных, удивительных реакций и одна из них — это колебательная реакция. Колебательные реакции — это реакции, в ходе которых концентрации промежуточных соединений и скорость реакции испытывают колебания, то есть этот процесс протекает циклично, состоит из многократных повторений.

Колебательные реакции протекают с участием катализатора (впервые это было обнаружено в процессе реакции при наличии ионов церия) и состоят, как правило, из двух стадий.

Я заинтересовался данной темой и хотел провести данные реакции в школьной лаборатории, но из-за недостатка реактивов провести реакции Брея-Либавски и Бриггса-Раушера, а также Белоусова — Жаботинского в школьной лаборатории практически невозможно. Я решил изучить и провести колебательные реакции из доступных реактивов в школьной лаборатории.

Цель работы: изучить механизм колебательных реакций и провести данную реакцию из доступных реактивов в школьной лаборатории.

Задачи:

1. Ознакомиться с информационной литературой, теоретическими основами колебательных реакций.
2. Подобрать соответствующие реактивы и провести колебательные реакции на основе доступных реактивов.
3. Сделать выводы по результатам исследования;

Предмет исследования: колебательные реакции.

Объект исследования: процессы, происходящие в колебательных реакциях.

Гипотеза работы: если реакция мочевины пероксида (гидроперита) с соляной кислотой в присутствии кристаллогидрата сульфата меди (II) протекает циклично и состоит из многократных повторений, то она является колебательной.

Новизна

Мной практически путем осуществлены колебательные химические реакции из доступных химических реактивов в школьной лаборатории.

Методы исследования: поисково-исследовательский, наблюдение, сравнение, эксперимент.

Практическая значимость: данную реакцию можно демонстрировать на уроках химии для изучения химических процессов и использовать, как модель для более сложных биологических систем.

Глава 1. Колебательные реакции

1.1 История открытия колебательных реакций

Периодические процессы распространены в живой природе. В качестве примеров периодических процессов можно указать движение планет вокруг Солнца, восход и заход солнца, смену времен года, суточные колебания температуры, морские приливы и отливы, процесс сердцебиения и т.д. Даже мембраны клеток пропускают ионы в определенном ритме.

Выявление и изучение чисто химических колебательных систем стало со временем отдельным разделом химии, существенный вклад, в развитие которого был внесен отечественными исследователями. Объектом пристального внимания являлась широко известная реакция окисления лимонной кислоты броматом калия, катализируемая ионами церия (IV), которую открыл Б.П.Белоусов в 1951 г.[2] Открытие колебательной химической реакции И. П. Белоусов сделал при попытке создать простую химическую модель некоторых стадий системы ключевых биохимических превращений карбоновых кислот в клетке. Однако первого сообщения о его открытии напечатано не было. Вторая попытка опубликования результатов исследования была предпринята учёным в 1957 г., и опять он получил отказ, несмотря на появившиеся тогда работы бельгийского физика и физикохимика И. Р. Пригожина. В этих работах была показана возможность и вероятность колебательных химических реакций. В ходе реакции наблюдалось многократное изменение окраски раствора от желтой в бесцветную и обратно, отвечающее переходу Ce (IV) в Ce (III) . Исследования Белоусова были подхвачены А.М.Жаботинским, которому, однако, пришлось заново открывать известные еще Белоусову явления и эффекты [5]. Широкой научной общественности реакция стала известна по работам Жаботинского, поэтому в современной научной литературе ее называют реакцией Белоусова - Жаботинского [8]. Автоколебания открыты и в ряде других систем. Бриггс и Раушер [8] исследовали окисление малоновой кислоты и пероксида водорода иодатом калия, катализируемое ионами марганца (II). В ходе реакции образуется молекулярный йод, поэтому окраска

раствора периодически меняется из бесцветной в желтую и обратно. В присутствии крахмала возникает дополнительное синее окрашивание (трехцветный колебательный цикл).

Направление реакции определяется химическим (термодинамическим) потенциалом - реакции осуществляются в направлении более вероятных состояний, в направлении уменьшения свободной энергии системы. Когда реакция в данном направлении завершается, это значит, что её потенциал исчерпан, достигается термодинамическое равновесие, и без затраты энергии, самопроизвольно, процесс в обратную сторону пойти не может. А тут... реакция идёт то в одном, то в другом направлении [4] .

Однако никакого нарушения законов в этой реакции не было. Происходили колебания - периодические изменения - концентраций промежуточных продуктов, а не исходных реагентов или конечных продуктов. CO_2 не превращается в этой реакции в лимонную кислоту, это в самом деле невозможно. Детальные траектории системы от начального состояния к конечному могут быть очень сложными. Лишь в последние десятилетия этими проблемами стала заниматься термодинамика систем, далёких от равновесия. Эта новая наука стала основой новой науки - синергетики (теория самоорганизации).

1.2 Применение колебательных реакций

Данная реакция нашла применение в различных областях науки и техники. Эта реакция используется как модель для исследования грозного нарушения работы сердца – аритмии и фибрилляций. Также она используется для изучения более сложных биологических систем. такую реакцию можно использовать как вычислительную машину для хранения и обработки изображения. Светочувствительная модификация реакции Белоусова-Жаботинского может служить прототипом вычислительного комплекса, который возможно, придет на смену ЭВМ [11].

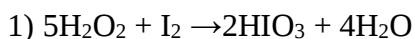
В 2020 году в России был создан первый химический нейрокомпьютер, принципы работы которого аналогичен принципу работы нейросетей и человеческого мозга. Базовым элементом компьютера являются микроячейки, которые работают на основе колебательной реакции Белоусова-Жаботинского, соединенные между собой импульсными связями с временной задержкой, что аналогично синаптическим связям между нейронами [12].

1.3 Причины возникновения колебательных реакций[8]

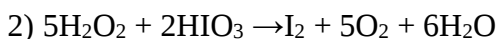
Известно уже достаточно большое число химических реакций, в которых наблюдаются колебательные изменения концентрации реагентов: это катализируемые броматные осцилляторы (реакция Белоусова-Жаботинского); некатализируемые броматные осцилляторы; осцилляторы на основе хлорит-ионов; иодатные и пероксидные осцилляторы и т.д.

Определенный интерес представляют гомогенные колебательные химические реакции с участием пероксида водорода - реакции Брея-Либавски и Бриггса-Раушера, основанные на проявлении двойственной роли H_2O_2 как окислителя и восстановителя.

Разложение пероксида водорода, катализируемое иодатом (реакция Брея-Либавски), осуществляется следующим образом:



(окисление иода до иодноватой кислоты пероксидом водорода),



(восстановление иодноватой кислоты до иода пероксидом водорода).

Хотя эти реакции были впервые описаны Оже, только Брей в 1921 году удалось обнаружить в данной системе колебания, имеющие в условиях эксперимента затухающий характер.

Реакция (1) автокаталитическая и протекает с высокой скоростью; скорость реакции (2) относительно невелика. Почти полвека продолжались попытки опровергнуть открытые Бреем периодические изменения в процессе взаимодействия иодат-пероксид водорода. Однако в 1967 году было подтверждено наличие колебаний в этой реакции и предложена математическая модель, описывающая колебания, подобные экспериментально наблюдаемым. Иодными часами была названа реакция, открытая Бриггсом и Раушером в 1973 году. Эта реакция похожа на реакцию Брея иодат-пероксид водорода, кроме того, включает некоторые элементы реакции Белоусова. В состав реакционной системы входят KIO_3 , H_2O_2 , HClO_4 (H_2SO_4), $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$, MnSO_4 , крахмал. В процессе этой реакции периодически изменяются концентрации иода I_2 и иодид-ионов I^- .

Рассмотренные выше системы представляют собой гомогенные реакции. К гетерогенным колебательным процессам относят реакции разложения N_2O , окисления CO , H_2 .

Обобщим теперь все сказанное и дадим определение колебательных реакций: колебательные реакции - это периодические процессы, характеризующиеся

колебаниями концентраций некоторых промежуточных соединений и соответственно скоростей превращения. Наблюдаются такие процессы в газовой и жидкой фазах и особенно часто на границе раздела этих фаз с твердой фазой. Колебательными чаще всего бывают редокс-реакции, а также реакции, сопровождающиеся появлением новой фазы вещества. Причиной возникновения колебаний концентрации является наличие обратных связей между отдельными стадиями сложной реакции: положительных и отрицательных.

Глава 2. Экспериментальная часть

Так как проведение реакций Бриггса – Раушера не увозможна в нашей лаборатории, т.к. не были найдены нужные реактивы. Мы искали более простую реакцию с использованием доступных реактивов [14].

Оснащение и оборудование, использованное в работе:

1. Вытяжной шкаф.
2. Лабораторная посуда (набор).
3. Реактивы:
 - мочевины пероксид,
 - соляная кислота 5%, 10%, 15%,
 - кристаллогидрат сульфата меди ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$),
 - известковая вода,
 - лакмус,
 - вода (H_2O).

Методика проведения эксперимента:

Мы провели несколько экспериментов, меняя концентрацию соляной кислоты и концентрацию мочевины пероксида: 3 (4,5 г) и 4 (6 г) таблетки соответственно.

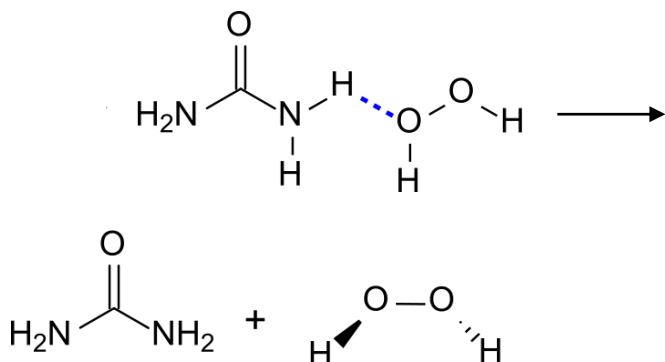
Ход работы:

1. Растолкли таблетки мочевины пероксида
2. Добавим 10 кристалликов кристаллогидрата сульфата меди(II)
3. Высыпаем смесь в пробирку
4. Наливаем 12 мл соляной кислоты (HCl)
5. Нагревали до полного растворения мочевины пероксида.

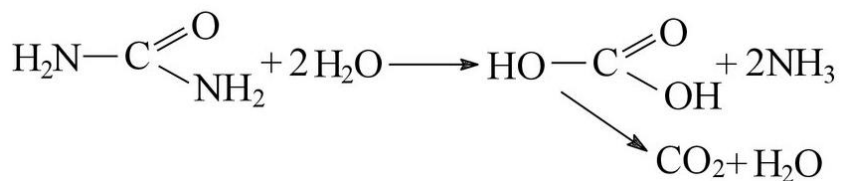
В пробирках наблюдается изменение интенсивности кипения через определенные промежутки времени, интенсивность колебаний зависит от концентрации соляной кислоты и количества мочевины пероксида.

При проведении реакции с 5% кислотой я увидел, что реакция шла интенсивно, но циклических повторений мной не отмечено. При использовании соляной кислоты в концентрации 10% наиболее явно повторения были заметны при использовании 6 г мочевины пероксида. Наиболее четко реакция шла при использовании 6 г мочевины пероксида и 15% раствора соляной кислоты. Данные закономерности отмечены в таблице 1 и диаграмме "Зависимость протекания реакции от концентрации мочевины пероксида и соляной кислоты" (см. приложение 1).

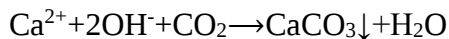
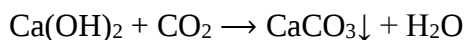
Предполагаемые уравнения реакций:



Гидролиз мочевины



Выделение углекислого газа мы определили при помощи известковой воды. При пропускании углекислого газа через раствор гидроксида кальция, наблюдается помутнение раствора, это связано с тем, что в результате реакции образуется нерастворимый карбонат кальция:

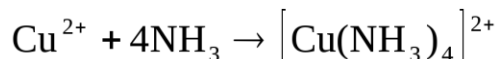
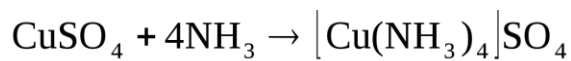


Чтобы доказать выделение аммиака я к отверстию пробирки поднес смоченную в воде лакмусовую бумагу, лакмус не окрашивается в синий цвет.

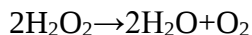
Я предположил, что одна часть аммиака нейтрализуется соляной кислотой.



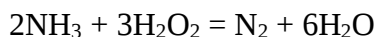
А другая часть вступает в реакцию с кристаллогидратом сульфата меди (II) с образованием комплексного соединения.



Образовавшееся комплексное соединение принимает участие в разложении пероксида водорода.



Так же возможна реакция окисления аммиака концентрированным раствором пероксида водорода.



В ходе реакции я наблюдал многократно повторяющееся бурное выделение газов из реакционной смеси и прекращение выделения газов (см. приложение 2).

Т. к. колебательные реакции представляют собой циклические процессы. Циклическим называют процесс, который складывается из многократных повторений одного и того же превращения. На молекулярном уровне цикличность лежит в основе протекания обширного класса химических процессов, в том числе и каталитических. То я предположил, что данная реакция является колебательной.

Выводы

1. Во время работы я ознакомился с информационной литературой и теоретическими основами колебательных реакций, получил новые знания о том, что представляют собой колебательные реакции, какие процессы лежат в их основе, а также получил опыт правильного проведения химического эксперимента.

2. При помощи доступных реактивов мочевины пероксида, соляной кислоты, кристаллогидрата сульфата меди (II) провел колебательную реакцию.

3. Так как в ходе реакции протекают многократные повторения одного и того же превращения (бурное выделение газов из реакционной смеси и прекращение выделения газов), т.е. наблюдается циклический процесс, то я сделал вывод, что реакция взаимодействия мочевины пероксида, соляной кислоты в присутствии кристаллогидрата сульфата меди (II) является колебательной.

4. Наиболее заметные циклические повторения при использовании 15% соляной кислоты и 6 г мочевины пероксида.

Таким образом, гипотеза, выдвинутая в начале нашего исследования, нашла своё подтверждение.

Заключение

Таким образом, проведение колебательных реакций возможно в условиях школьной лаборатории. Колебательные реакции - удивительные реакции, которые еще не изучены до конца.

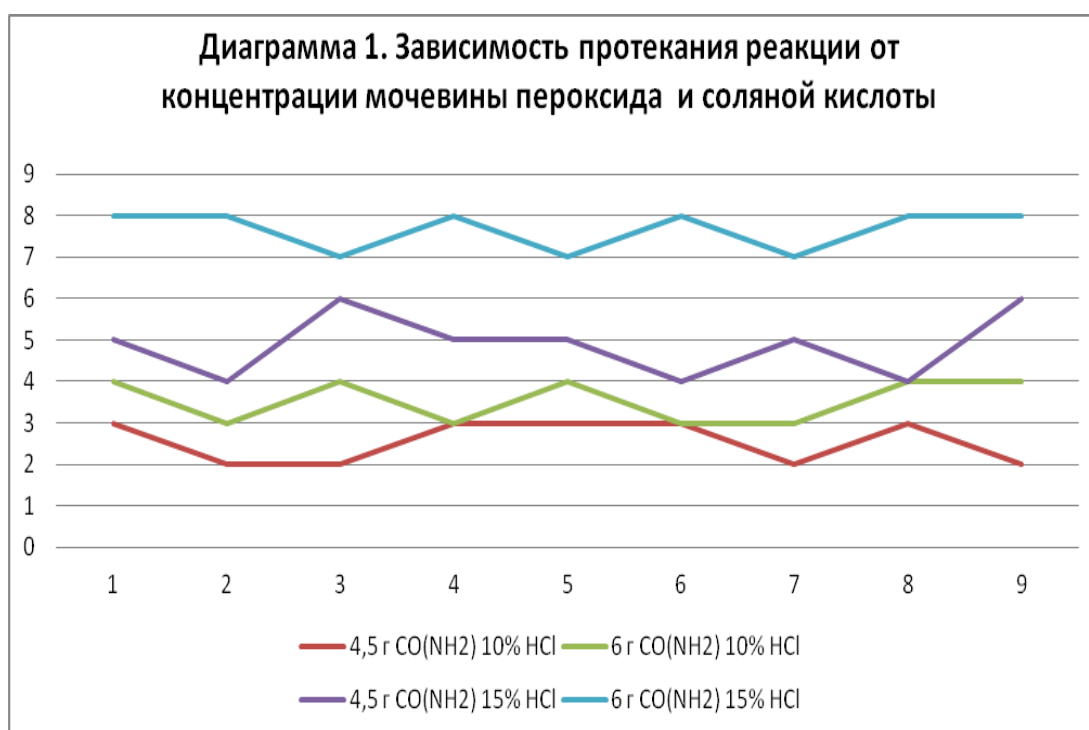
Колебательные химические реакции используются в различных областях науки и техники, являются ярким примером самоорганизации в неживой природе, и в этом смысле имеется не только естественнонаучное, но и философское значение.

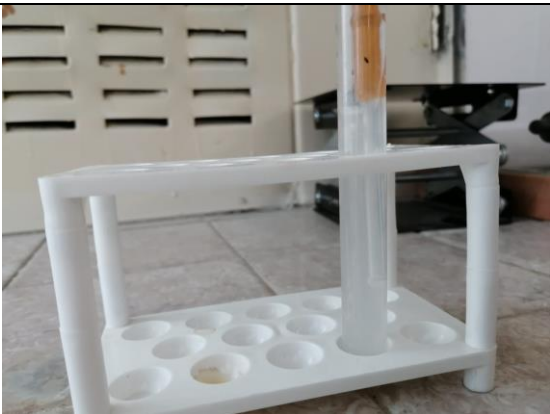
Список литературы

1. Алексинский В.Н. Занимательные опыты по химии : Пособие для учителей / В. Н. Алексинский. - М. : Просвещение, 1980. - 127 с
2. Белоусов Б.П. // Химия и жизнь. 1982. № 7. С. 65.
3. Вавилин В.А. Автоколебания в жидкофазных химических системах. Природа, 2000, № 5, с. 19–25.
4. Вольтер Б.В. Легенда и быль о химических колебаниях. Знание – сила, 1988, № 4, с. 33–37;
5. Жаботинский А.М. Концентрационные колебания. М.: Наука, 1974, 179 с.;
6. Колебательные химические реакции [Текст]/ Д. Гарел, О. Гарел ; пер. с англ. Л. П. Тихоновой ; под ред. К. Б. Яцимирского. - Москва : Мир, 1986. - 148 с
7. Курс органической химии [Текст]: учебник для студентов фармацевтических институтов (факультетов): в 2 частях / Б. Н. Степаненко. - 5-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 1976/
8. Муштакова С.П. Колебательные реакции в химии. Соросовский образовательный журнал, 1997, № 7, с. 31–37;
9. Практикум по неорганической химии [Текст] : учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по спец. "Фармация" / ред. Н. А. Остапкевич. - М.: Высшая школа, 1964.
10. Колебательная реакция из доступных реактивов. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: URL <https://www.youtube.com/watch?v=iz7D1cbLf7Y> (дата: 12.11.2019)
11. Значение открытий колебательных реакций, концентрационных колец и их целевое применение. [Электронный ресурс]: - Режим доступа: URL <https://mykonspekts.ru/2-42670.html> (дата: 02.01.2021)
12. Ученые БФУ создали первое в мире микроустройство с "химическим мозгом". [Электронный ресурс]: - Режим доступа: URL <https://nauka.tass.ru/nauka/9742685> (дата: 02.01.2021).

Таблица 1. Зависимость протекания реакции от концентрации мочевины пероксида и соляной кислоты

	Усиление выделения газов, сек								
4,5 г CO(NH ₂) 10% HCl	3	2	2	3	3	3	2	3	2
6 г CO(NH ₂) 10% HCl	4	3	4	3	4	3	3	4	4
4,5 г CO(NH ₂) 15% HCl	5	4	6	5	5	4	5	4	6
6 г CO(NH ₂) 15% HCl	8	8	7	8	7	8	7	8	8



Описание	Фотография
Реакция мочевины пероксида с соляной кислотой в присутствии кристаллогидрата сульфата меди (II)	
Определение образования аммиака лакмусом	
Качественная реакция на углекислый газ с известковой водой	
Бурное выделение газов (повторяется циклически)	