

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ГОУ ВПО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра общей и неорганической химии

Т.Б. Голубева  
С.В. Целищева

# КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В КУРСЕ «ХИМИЯ»

Методические указания  
для лабораторных и практических занятий  
для студентов очной и заочной форм обучения  
Направлений 120300 – Землеустройство и кадастры,  
150400 – Технологические машины и оборудование,  
190500 – Эксплуатация транспортных средств, 190700 – Организация пе-  
ревозок и управление на транспорте, 220500 – Управление качеством,  
220300 – Автоматизированные технологии и производства,  
250000 – Воспроизводство и переработка лесных ресурсов,  
250300 – Технология и оборудование лесозаготовительных и деревопере-  
рабатывающих производств, 260200 – Производство продуктов питания из  
растительного сырья, 270200 – Транспортное строительство,  
Специальностей 010502 – Прикладная информатика, 080502 – Экономика  
и управление на предприятии, 080507 – Менеджмент организации  
по дисциплинам «Химия» и «Концепции современного естествознания»

Екатеринбург  
2011

Печатается по рекомендации методической комиссии ИЭФ.  
Протокол № 3 от 4 октября 2010 г.

Рецензент – доцент кафедры ОиНХ Коптелова С.В.

Редактор Р.В. Сайгина  
Оператор компьютерной верстки Г.И. Романова

---

Подписано в печать 17.05.2011	Поз. 77
Плоская печать	Формат 60x84 1/16 Тираж 200 экз.
Заказ	Печ. л. 0,7 Цена 4 руб. 28 коп.

---

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ  
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

## ВВЕДЕНИЕ

Методические указания к учебно-исследовательской лабораторной работе по теме «Каталитические системы в курсе «Химия» предназначены для студентов очной и заочной форм обучения направлений и специальностей, изучающих разделы как химии, так и концепции современного естествознания. Согласно государственным образовательным стандартам (ГОС ВПО) выпускник должен иметь представление о каталитических системах.

Актуальность подготовки методических указаний обусловлена и тем, что в настоящее время выходной контроль знаний по курсу «Химия», а также «Концепции современного естествознания», по ряду специальностей и направлений осуществляется в виде Интернет-экзамена в форме тестового контроля. В соответствии же с требованиями ГОС ВПО структура тестового задания по курсу «ХИМИЯ» разбита на пять дидактических единиц, в том числе: «физическая химия» с подразделом «каталитические системы».

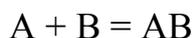
При подготовке методических указаний авторами были использованы изданные учебные пособия, химические практикумы, материалы периодической печати, сведения из Интернета [1]–[8]. Так как ГОС ВПО предъявляет требование к выпускнику вуза – сформированность ценностей здорового образа жизни – в методические указания включён опыт, показывающий негативные свойства продуктов сгорания табака.

Перед выполнением практического эксперимента в лаборатории при внеаудиторной самостоятельной работе студентами выполняется заготовка отчёта по лабораторной работе. При этом рекомендуется использовать литературу из списка использованных источников, а также конспекты лекций.

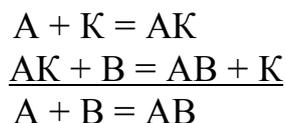
Катализ – (от греч. «разложение») – это процесс изменения скорости химической реакции под действием катализатора. Каталитические процессы широко распространены в природе и технике. Так, в настоящее время около 70% всех химических процессов в промышленности осуществляются с применением катализаторов.

Катализаторы – это вещества, влияющие на скорость протекания химической реакции, но остающиеся после её завершения неизменными по составу и строению. Характерными свойствами катализаторов являются специфичность; применение в небольших количествах; ограниченность работы во времени.

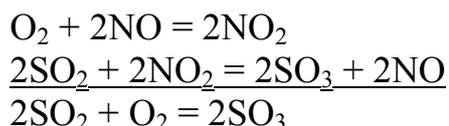
Механизм действия катализаторов обычно объясняют образованием промежуточных соединений с одним из реагирующих веществ. Например: без катализатора процесс протекает в соответствии с уравнением:



В присутствии катализатора суммарное уравнение процесса остаётся таким же, однако, механизм протекания реакции меняется:



Пример: процесс  $O_2 + 2SO_2 = 2SO_3$  протекает очень медленно. С применением катализатора (оксида азота (II)) процесс идёт по следующей схеме:



Введение катализаторов позволяет повысить либо понизить энергию активированного комплекса.

Катализаторы бывают ускоряющие и замедляющие

1. *Ускоряющие* – снижают энергию активации, повышают скорость химической реакции – применяются, например, при крупнотоннажном химическом производстве – производство серной кислоты, аммиака, органический синтез и др.

2. *Замедляющие* (ингибиторы) – повышают энергию активации, снижают скорость химической реакции, применяются для замедления нежелательных процессов, таких как коррозия, гниение – антиоксиданты – вещества, оказывающие ингибирующее влияние на процессы окисления кислородом и т.п. К широко применяемым ингибиторам относят синтетические антибиотики – вещества, обладающие способностью избирательно подавлять развитие различных, в том числе патогенных, микроорганизмов и клеток некоторых опухолей. К ним, в частности, относятся ингибиторы синтеза компонентов бактериальной стенки, ингибиторы синтеза нуклеиновых кислот и др.

Процессы катализа можно разделить

- на гомогенные, при этом исходные вещества, катализатор, продукты реакции представляют собой одну фазу (см. вышеприведённый пример).

- гетерогенные, при этом исходные вещества, катализатор, продукты образуют несколько фаз. Примером может являться процесс горения серы на ванадиевой сетке.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

**Опыт 1. Взаимодействие йода с алюминием в присутствии катализатора – воды** [2, С. 114], [3, С. 55-56].

*Реактивы:* 0,4 г алюминиевой пудры, 4 г мелко растёртого йода, дистиллированная вода.

*Оборудование:* отдельные бюксы для хранения алюминиевой пудры и йода, пипетка, керамическая пластинка, лучинка. *Опыт проводить под тягой!*

*Выполнение:* на керамическую пластинку высыпать из бюксов алюминий и йод. Тщательно перемешать смесь лучинкой, сформировать «горку». Реакция не идёт! Посередине «горки» сделать углубление и при помощи пипетки внести каплю катализатора - воды. Вскоре начинается реакция. Сначала появляется легкий дымок, а затем разгорается яркое пламя с клубами фиолетового дыма. В ходе реакции выделяется большое количество теплоты, за счёт которой и происходит возгонка не прореагировавшего йода.

В отчёт записать уравнение реакции; составить электронный баланс для неё, указать окислитель и восстановитель.

*Примечание:* аналогично протекает реакция цинка с йодом (0,5 г цинковой пыли и 2,5 г мелко растёртого йода). Энергично взаимодействуют также эквивалентные количества магния и йода.

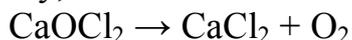
**Опыт 2. Каталитическое разложение хлорной извести** [2, С. 127].

*Примечание:* хлорная или белильная известь – это смесь хлорида ( $\text{CaCl}_2$ ) и гипохлорита ( $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ ) кальция, состав которой часто выражают формулой  $\text{CaOCl}_2$ .

*Реактивы:* раствор  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ , концентрированный раствор хлорной извести (для приготовления концентрированного раствора хлорной извести следует приготовить кашу из хлорной извести в тёплой воде; дать ей отстояться в течение 30 минут, затем отфильтровать).

*Оборудование:* большая пробирка, спиртовка, лучинка.

*Выполнение:* налить раствор хлорной извести в большую пробирку и нагреть его в пламени спиртовки примерно до  $70^\circ\text{C}$ . Затем прибавить несколько капель раствора нитрата кобальта (II). Тотчас начнётся обильное выделение газа из раствора. Показать, что выделяется кислород: поднести к пробирке тлеющую лучинку, - она вспыхнет.



Для приведённой внутримолекулярной окислительно-восстановительной реакции составить электронный баланс, указать окислитель и восстановитель.

**Опыт 3. Разложение пероксида водорода в присутствии катализатора – оксида марганца (IV) [2, С. 24].**

*Реактивы:* пероксид водорода  $\text{H}_2\text{O}_2$  (3% и 30%-ные растворы); порошок и гранулы диоксида марганца  $\text{MnO}_2$ .

*Оборудование:* цилиндр ёмкостью 200 мл, стакан, большая пробирка, ложечка, деревянная лучинка.

*Выполнение:* в цилиндр положить несколько кусочков гранулированного диоксида марганца и прилить 3%-ный раствор  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Испытать выделяющийся газ тлеющей лучинкой. Лучинка вспыхивает.

Более энергично идёт реакция с 30%-ным раствором. Налить в большую пробирку менее 1/5 объёма 30%-ного раствора пероксида водорода. Пробирку поставить в стакан так, чтобы она была направлена в сторону от аудитории. Внести *осторожно* в пробирку немного (на кончике ложечки) порошка диоксида марганца. Реакция протекает очень бурно: из пробирки вылетает столб пара с брызгами жидкости. Написать уравнение реакции.

*Примечание:* диоксид марганца можно заменить диоксидом свинца  $\text{PbO}_2$  [3, С. 55].

**Опыт 4. Каталитическое ускорение реакции разложения пероксида водорода в присутствии молибдата натрия [3, С. 54-55].**

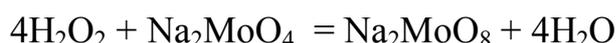
*Реактивы:* пероксид водорода  $\text{H}_2\text{O}_2$  (3 % - ный раствор), 0,01 М раствор молибдата натрия  $\text{Na}_2\text{MoO}_4$ .

*Оборудование:* коническая колба, большая пробирка, деревянная лучинка, нагреватель.

*Выполнение:* налить в пробирку 10 мл 3%-ного раствора пероксида водорода. Опустить в пробирку тлеющую лучинку. Лучинка не вспыхивает.

В коническую колбу налить 10 мл 0,01 М раствора молибдата натрия и затем, постепенно, из пробирки прилить 10 мл пероксида водорода. Наблюдать изменение окраски раствора и момент начала выделения пузырьков кислорода. Для завершения реакции смесь слегка нагреть. Убедиться в наличии кислорода в колбе с использованием тлеющей лучинки.

Объяснить наблюдаемые явления можно с помощью уравнений протекающих реакций:



Суммарно:

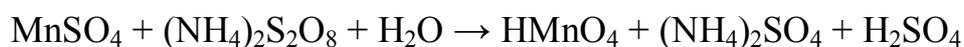


**Опыт 5. Каталитическое ускорение реакции окисления Mn (II) в Mn (VII) [3, С. 55].**

*Реактивы:* растворы  $MnSO_4$  или  $Mn(NO_3)_2$  (но не  $MnCl_2$ , так как ионы  $Cl^-$  мешают проведению реакции!), 2н раствор азотной кислоты, раствор нитрата серебра, сухой пероксодисульфат аммония  $(NH_4)_2S_2O_8$ .

*Оборудование:* пробирки, микрошпатель, водяная баня.

*Выполнение:* внести в две пробирки по 3-4 капли раствора сульфата или нитрата марганца (II) и подкислить таким же объёмом 2н раствора азотной кислоты. В одну из пробирок добавить одну каплю раствора нитрата серебра и в обе пробирки по одному микрошпателью  $(NH_4)_2S_2O_8$ . Обе пробирки поместить в водяную баню. Реакция протекает по уравнению:



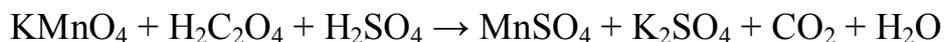
Азотная кислота в реакции не расходуется, а добавляется с целью создания определённой кислотности среды в начале реакции. В качестве промежуточных быстро протекающих процессов происходит восстановление ионов серебра марганцем (II) и обратное окисление серебра пероксосульфатом аммония. Методом электронного баланса расставить коэффициенты в уравнении реакции, указать окислитель и восстановитель, назвать катализатор.

**Опыт 6. Аутокаталитическая реакция взаимодействия перманганата калия с щавелевой кислотой в присутствии катализатора – солей Mn(II) [2, С. 65], [5, С. 277-278].**

*Реактивы:* раствор  $KMnO_4$  розового цвета; раствор щавелевой кислоты 1М; раствор серной кислоты (1:3); кристаллы  $MnSO_4$ .

*Оборудование:* два стакана объёмом 200 мл.

*Выполнение:* смесь растворов  $KMnO_4$ ,  $H_2C_2O_4$ ,  $H_2SO_4$  разлить в два стакана.



При комнатной температуре этот процесс протекает медленно. С целью ускорения процесса в один из стаканов вводят кристаллик сульфата марганца (II). Раствор мгновенно обесцвечивается. Обесцвечивание же второго раствора происходит через несколько минут. Эта реакция является самоускоряющейся или аутокаталитической из-за того, что в ходе процесса в растворе в качестве продуктов реакции появляются катионы марганца  $[Mn(H_2O)_6]^{2+}$ , катализирующие реакцию.

Методом электронного баланса расставить коэффициенты в уравнении реакции, указать окислитель и восстановитель.

**Опыт 7. Каталитическое окисление аммиака на поверхности оксида хрома (III) [2, С. 67].**

*Реактивы:* концентрированный водный раствор аммиака;  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в виде порошка, полученный в ходе термического разложения бихромата аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ .

*Оборудование:* колба ёмкостью 3 л; железная ложечка; спички, горелка. *Опыт проводить под тягой!*

*Выполнение:* на асбестовую сетку положить в виде горки кристаллический бихромат аммония. Верхушку поджечь спичкой. Наблюдать «извержение вулкана». Протекающий процесс описывается схемой:



Для приведённой внутримолекулярной окислительно-восстановительной реакции методом электронного баланса подобрать коэффициенты, указать окислитель и восстановитель.

В колбу влить 10-15 мл концентрированного раствора аммиака. Данным раствором тщательно смочить стенки колбы и остаток из колбы вылить. Оксид хрома (III) положить на железную ложечку и сильно прокалить, а затем небольшими порциями сбрасывать в колбу с аммиаком. Каждая порция оксида даёт красивый сноп искр, и отдельные искры долго видны внутри колбы.

Написать уравнение реакции; составить электронный баланс для неё, указать окислитель и восстановитель.

**Опыт 8. Окисление сахара в присутствии катализатора – оксида хрома (III) или «мерцающие огоньки». [1, С. 47]**

*Реактивы:* 2-3 г сахарной пудры, 6-9 г оксида хрома (III), полученного термическим разложением бихромата аммония, лучинка.

*Оборудование:* керамическая плитка, асбестовая сетка, треножник, фарфоровая чашечка, стеклянная палочка. **Работать под тягой при включённой вентиляции!**

*Выполнение:* В сухой фарфоровой чашечке с помощью стеклянной палочки тщательно перемешать сахарную пудру и оксид хрома (III). Полученную смесь насыпать горкой на асбестовую сетку или керамическую плитку, помещённую на демонстрационный столик. Внести в смесь на некоторое время горящую лучинку до появления первых искр, после чего лучинку уберите. Происходит постепенный разогрев смеси с появлением «мерцающих огоньков».

В данном опыте активно окисляется и может даже загореться сахар на поверхности катализатора – оксида хрома (III). Легко убедиться, что «мерцающие огоньки» в отсутствие оксида хрома (III) не наблюдаются.

**Опыт 9. Замедление коррозии железа в кислой среде с применением ингибитора – раствора формалина [2, С. 68].**

*Реактивы:* очищенные железные гвозди; хлороводородная кислота (1:2); 40%-ный раствор формалина.

*Оборудование:* два цилиндра; чёрный экран.

*Выполнение:* в цилиндры с кислотой опустить железные гвозди. Когда выделение пузырьков водорода делается заметным, внести в один цилиндр 1-2 мл формалина. Скорость выделения водорода заметно уменьшается, так как формалин является ингибитором для этой реакции. Методом электронного баланса составить уравнение взаимодействия железа с хлороводородной кислотой, указать окислитель и восстановитель.

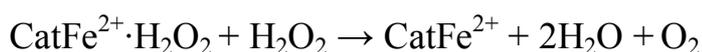
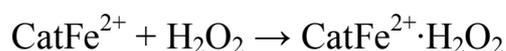
**Опыт 10. Ферменты – природные катализаторы; наблюдение работы каталазы [1, С. 87]**

*Примечание:* Ферменты (биокатализаторы) – это соединения белковой природы, являющиеся катализаторами в биохимических реакциях.

Кислородное дыхание живых организмов приводит к образованию пероксида водорода  $H_2O_2$ . Это вещество обладает высокой окислительной способностью. При его взаимодействии с биоорганическими соединениями клеток образуются радикалы – очень активные частицы с ненасыщенной валентностью и инициируется пероксидное окисление. Под действием радикалов разрушаются важнейшие составные части клетки – мембраны и ДНК.

С целью противодействия этим негативным процессам в организмах вырабатывается особый белок – фермент каталаза, которая и разрушает пероксид водорода (и к тому же окисляет в его присутствии низкомолекулярные спирты и нитриты). Она присутствует во многих клетках, в том числе в эритроцитах крови и клетках печени. Тем самым ограничивается избыточное накопление пероксида водорода и предотвращается разрушение клетки.

Действие каталазы ( $CatFe^{2+}$ ) может быть представлено в виде каталитического цикла из двух последовательных реакций:



Как видно, в результате разрушаются две молекулы пероксида водорода, а молекула биокатализатора  $CatFe^{2+}$  освобождается и может вступить в следующий каталитический цикл. Этот процесс очень быстрый: в течение секунды одна молекула каталазы может осуществлять до 20 000 циклов! [4, С. 282-283]

*Реактивы:* 3%-ный раствор пероксида водорода  $H_2O_2$ , размоченные семена фасоли или гороха.

*Оборудование:* пробирка.

*Выполнение:* в пробирку налить раствор пероксида водорода. Разломить размоченные семена фасоли или гороха и поместить их в раствор пероксида водорода. Написать уравнение реакции.

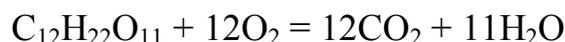
### **Опыт 11. Доказательство каталитической активности продуктов сгорания табака [2, С. 68], [5, С. 254]**

*Примечание:* согласно данным многочисленных исследований горящая сигарета является уникальной «химической фабрикой», производящей около 4000 различных соединений, в том числе более 40 канцерогенных веществ (накапливающихся в организме и вызывающих рак) и, по меньшей мере, 12 веществ, способствующих развитию рака (коканцерогенов) [7]. Всю продукцию этой фабрики можно условно разделить на две группы: газовую и твёрдофазную. Целью данного опыта является показ небезопасности твёрдой фазы. В её состав входят тяжёлые металлы, относящиеся к I-II классу опасности – свинец, кадмий, ртуть, цинк и др. Подробнее о биологическом действии этих металлов можно прочитать в [4]. Их опасность также связана с высокой каталитической активностью.

*Реактивы:* кусочек сахара, пепел от сгорания папиросы или сигареты.

*Оборудование:* горелка, керамическая пластинка, щипцы.

*Выполнение:* кусочек сахара внести в пламя горелки. При этом горелку держать в вертикальном положении. Сахар не горит, а чернеет, плавится и каплями стекает на пластинку. Затем вынуть сахар из пламени и на его поверхность нанести немного пепла и слегка растереть пальцем. Затем вновь внести сахар в пламя горелки. Сахар горит, давая небольшой, но заметный язычок пламени.



Стёпин считает, что катализируют процесс горения карбонаты щелочных металлов, содержащиеся в табачном пепле. При этом главная роль принадлежит карбонату лития.

Табачный дым также является ингибитором многих ферментных систем организма человека, включая такие важные, как дегидрогеназы и оксигеназы. Для больных курильщиков важно и то, что курение обуславливает снижение терапевтической реакции организма на действие лекарственных средств – их распад стимулируется под влиянием ферментов печени [7].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексинский В.Н. Занимательные опыты по химии: Пособие для учителя. – М.: Просвещение, 1995. – 96 с.
2. Выстропова И.Е. Химические элементы-путешественники // Элективные курсы по химии для предпрофильной подготовки учащихся в 8-9 классах. – М.: Глобус, 2007. – С. 59-101.
3. Иванова М.А., Кононова М.А. Химический демонстрационный эксперимент. Под ред. С.А. Щукарева. Руководство для аспирантов и лаборантов вузов. - М.: «Высш. шк.», 1969. – 248 с.
4. Коровин Н.В., Мингулина Э.И., Рыжова Н.Г. Лабораторные работы по химии: Учеб. пособие для техн. направ. и спец. вузов / Под ред. Н.В. Коровина. – М.: Высш. шк., 1998. – 256 с.
5. Ершов Ю.А., Попков В.А., Берлянд А.С. и др. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов: Учеб. для вузов. Под ред. Ю.А. Ершова. – М.: Высш. шк., 2000. – С. 282-283.
6. Степин Б.Д., Аликберова Л.Ю. Книга по химии для домашнего чтения / Б.Д. Степин, Л.Ю. Аликберова. – М.: Химия, 1995. – 400 с.
7. Хомченко Г.П. Пособие для поступающих в вузы. М.: Новая Волна, 1997. – 463 с.
8. [www.vozdyx.ru/art/sm10.htm](http://www.vozdyx.ru/art/sm10.htm).



Т.Б. Голубева  
С.В. Целищева

# КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В КУРСЕ «ХИМИЯ»

Екатеринбург  
2011