

**Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»**

**Кафедра химии**

**ХИМИЯ**

**Лабораторный практикум  
Лабораторная работа**

**Изучение теплового эффекта химической  
реакции (калориметрия)**

## **Лабораторная работа**

### **Изучение теплового эффекта химической реакции (калориметрия)**

**Цель работы:** научиться исследовать зависимость количества теплоты от типа кристаллической решетки вещества, определять тепловой эффект гидратации медного купороса.

Все химические реакции сопровождаются поглощением или выделением тепловой энергии. Реакции, идущие с выделением тепла, называются экзотермическими, а с поглощением – эндотермическими. Количество выделенного или поглощенного тепла называется тепловым эффектом реакции.

**Оборудование и реактивы:** калориметр, термометр Бекмана или термометр с делениями 0–50° (цена деления 0,1°), весы, часовое стекло, стакан, мензурка, термометр, фарфоровая чашечка, стеклянная палочка, держатель, щипцы, магнитная мешалка, теххимические весы, пипетки, мерный цилиндр на 150 см<sup>3</sup>, растворы 1М NaOH, 1 М HCl и 5М HCl, измельченный и высушенный CuSO<sub>4</sub> в эксикаторе, измельченный CuSO<sub>4</sub> · 5H<sub>2</sub>O.

Реакция нейтрализации является экзотермической реакцией. За счет выделяющейся теплоты нагреваются реакционная смесь и стенки стакана. Если скачок температуры измерить достаточно быстро, то можно пренебречь нагреванием стенок стакана. Для измерения температуры реагентов и реакционной смеси использовать термометр с ценой деления 0,1 °С

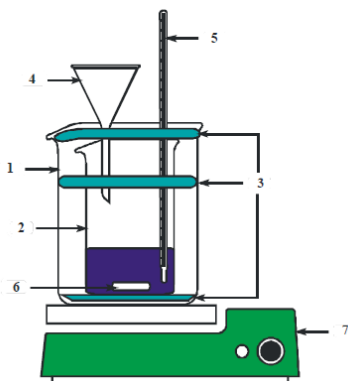
Тепловые эффекты химических реакций измеряют в специальных приборах, называемых калориметрами. Он состоит из двух различающихся по размеру стаканов, вставленных друг в друга. Между их стенками находится термоизоляционный вкладыш. Стаканы закрываются крышкой с отверстиями для термодатчика, устройства для выгрузки реактивов и т.п. (рис. 19.)

Работа выполняется в простейшем калориметре Термометр содержит ртуть и является очень хрупким устройством, поэтому при разборке прибора его предельно осторожно извлекают первым. В калориметрии часто используется термометр Бекмана. Шкала такого термометра составляет всего 5°, что дает возможность нанести цену деления 0,01°. Наиболее крупными цифрами отмечены целые градусы, условно подписанные от 0 до 5. Длинными чертами –десятые доли градуса, подписанные через 0,2°, самыми короткими – сотые доли. Все цифры подписаны над чертой, к которой они относятся. Термометр устроен

так, что количество ртути в его «шарике» и капилляре можно регулировать, подливая ее из специальной емкости в верхней части термометра. Таким образом, термометр можно настроить на любую температуру от  $-20$  до  $+150$  °С. Это значит, что температуру данный термометр не измеряет, а отсчитывает только небольшие изменения в пределах своей шкалы.



*a*



*б*

**Рис. 19. Калориметры:**  
*a* – электрокалориметр,

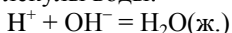
*б* – стеклянный калориметр: 1) внешний стакан, 2) внутренний стакан, 3) пенополиэтиленовые прокладки, 4) воронка, 5) термометр, 6) сердечник магнитной мешалки, 7) магнитная мешалка

Вынутый термометр следует аккуратно поставить вертикально в массивный мерный цилиндр или дополнительное гнездо калориметра. В работе может также использоваться традиционный термометр с делениями  $0,1^\circ$ , который не требует настройки, но имеет в 10 раз меньшую точность отсчета небольших значений  $\Delta t$ .

Перед разборкой прибора после извлечения термометра следует сразу отсоединить стеклянную ось мешалки от резиновой трубки. Для этого, придерживая одной рукой ось мешалки, другой рукой аккуратно снимают резиновую трубку со стеклянной оси. После этого можно открутить крышку. Поднимать открытую крышку следует опять же осторожно, следя за тем, чтобы не сломать стеклянную мешалку. После этого можно извлечь стакан для реакционной смеси. Собирают прибор в обратной последовательности.

#### **Порядок выполнения работы.**

**Опыт 1. Измерение теплоты реакции нейтрализации.** При взаимодействии моль-эквивалента сильной кислоты с сильным основанием в разбавленных водных растворах выделяется почти одинаковое количество теплоты  $\Delta H = -55,9$  кДж/моль при  $298^\circ\text{K}$ . Постоянство теплоты нейтрализации связано с тем, что при взаимодействии сильных кислот и оснований, полностью диссоциированных в водных растворах, из ионов  $\text{H}^+$ , (точнее из ионов гидроксония –  $\text{H}_3\text{O}^+$ ) кислоты и ионов  $\text{OH}^-$  основания образуются молекулы воды:



После разборки прибора в чистый и сухой стеклянный стакан (вместе с мешалкой он весит около 100 г, но для повышения точности можно взвесить на технических весах) налейте  $150 \text{ см}^3$   $0,1 \text{ M NaOH}$  (пипеткой на  $50 \text{ см}^3$  в три приема). Установите стеклянный стакан в калориметр.

Проденьте мешалку через отверстие в крышке и аккуратно, без перекоса, закрутите крышку, следя за погружением мешалки в стакан со щелочью. Придерживая левой рукой стеклянную ось, правой наденьте на нее резиновую трубку. Поворачивая вручную железную ось мотора, убедитесь, что мешалка вращается на небольшой высоте над дном стакана без заедания. В широкое отверстие крышки вставьте пробирку, предварительно налив в нее пипеткой  $10 \text{ см}^3$   $1 \text{ M HCl}$  для выравнивания температуры среды. После этого можно установить термометр, убедиться, что его «шарик» полностью погружен в жидкость, но не задевается мешалкой. Включить электромотор.

Найдите конец ртутного столбика и убедитесь, что он находится не

выше чем  $1,5^\circ$  от краев шкалы. Проследите за тем, чтобы столбик ртути не имел разрывов. Отметьте время и начните отсчитывать и записывать температуру один раз в минуту. Сделайте не менее пяти отсчетов, после чего содержимое пробирки с кислотой быстро влейте в щелочь сквозь отверстие. Продолжайте делать отсчет температуры в том же темпе и сделайте еще не менее пяти отсчетов после смешивания реагентов. Время сливания и результаты отсчета запишите в таблицу 1.

Таблица 1

Время, мин	0	1	2	3	4	5	5,5	6	7	8	9	10
t, условн												

По результатам измерений постройте график в координатах температура – время. Отведите не менее 10 см на  $1^\circ$ . График состоит из двух почти прямых линий хода температуры и скачка. Для максимально точного отсчета сразу проводят касательные к прямым линиям, а затем вертикальную линию через середину скачка. По пересечению вертикальной линии с касательными отсчитайте скачок температуры  $\Delta t$ .

Оценить тепловой эффект реакции нейтрализации в предположении, что удельная теплоемкость водного раствора с массой  $m$  равна  $c_p = 4,18$  Дж/(г·град). Удельная теплоемкость различных сортов стекла различна, но для большинства лабораторных стекол ее можно принять равной  $0,7$  Дж/(г·град). Плотность растворов принимается за  $1$  г/см<sup>3</sup>. При массе стеклянного стакана с мешалкой  $100$  г, содержащем  $115$  г раствора, суммарная теплоемкость системы составит:

$$C = 115 \text{ г} \cdot 4,18 \text{ Дж/(г·град)} + 100 \text{ г} \cdot 0,7 \text{ Дж/(г·град)} = 549 \text{ Дж/град.}$$

Тогда количество выделившейся теплоты  $Q = c_p \cdot m \cdot \Delta t$ . Измерить плотность ( $\rho$ ) конечного раствора. Разделив его на количество моль прореагировавших веществ ( $0,015$  моль), вы найдете молярную теплоту нейтрализации.

**Опыт 2. Определение теплового эффекта химической реакции при разбавлении.** При определении тепловых эффектов реакций нейтрализации необходимо учитывать, что при сливании растворов кислоты и основания происходит изменение объемов, т. е. нужно учитывать еще две промежуточные теплоты разбавления.

Для определения теплоты нейтрализации в качестве калориметрической жидкости используют  $0,1$  М раствор NaOH. В стакан наливают  $50$  см<sup>3</sup> щелочи и устанавливают его в калориметр. Нейтрализацию проводят  $5$ -ти молярным раствором соляной кислоты ( $\approx 1,5$  см<sup>3</sup>) из пипетки, соединенной с отверстием для проб в крышке калориметра. В

течение 4 минут, фиксируют температуру «предварительного периода». Определяют теплоту нейтрализации и разведения (смешения)  $q_1$  приливая к большому объему щелочи небольшой объем кислоты.

Определяют теплоту разведения кислоты  $q_2$ , вливая раствор кислоты (в таком же объеме, как при нейтрализации) в чистую воду, взятую в таком же объеме, как щелочь. Полученные данные заносят в таблицу 2:

Таблица 2

	Время ( $\tau$ ), мин							
	1	2	3	4	5	6	7	8
H <sub>2</sub> O								
NaOH								

*Вычисления.* В данной работе к большому объему щелочи прибавляется небольшой объем кислоты, поэтому объем щелочи мало изменится при вливании в нее кислоты, теплота разведения щелочи кислотой мала, и ею можно пренебречь. Теплота разведения кислоты щелочью в этом случае велика, и ее нужно учитывать при определении теплоты нейтрализации.

Изменение температуры  $\Delta T$ , как для процесса нейтрализации, так и для процесса разведения определяют графически (рис.20).

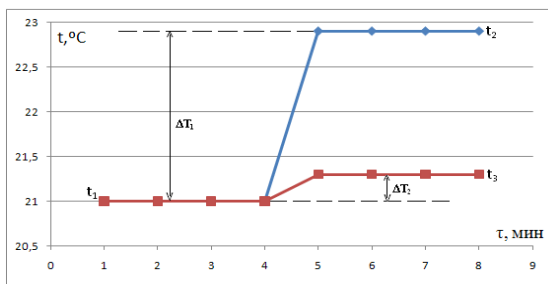


Рис. 20. График процесса нейтрализации

Теплоту нейтрализации определяют по формуле

$$q = (m_1c_1 + m_2c_2 + K)\Delta T_1 - (m_2c_2 + m_3c_3 + K)\Delta T_2$$

где  $m_1, c_1$  – масса и теплоемкость щелочи;  $m_2, c_2$  – масса и теплоемкость кислоты;  $m_3, c_3$  – масса и теплоемкость воды;  $K$  – константа калориметра (принять равной 178,4);  $\Delta T_1, \Delta T_2$  –разность температур при нейтрализации и разведении соответственно.

Теплоемкости щелочи и кислоты приблизительно равны теплоем-

кости воды ( $C_1 \approx C_2 \approx C_3 \approx c = 4,18$  Дж/г·К)

$\rho(5M\ HCl) = 1,082$  г/см<sup>3</sup>;

$\rho(0,1M\ NaOH) = 1,005$  г/см<sup>3</sup>;

Полученный тепловой эффект (Дж) пересчитывают на 1 моль кислоты

$$\Delta H = \frac{q \cdot 1000}{V \cdot C},$$

где  $V$  – объем кислоты, см<sup>3</sup>;  $C$  – концентрация кислоты, моль/л.

*По результатам работы сделать вывод.*

### **Опыт 3. Измерение теплоты гидратации кристаллогидратов.**

Теплоту гидратации в реакциях типа  $CuSO_4(тв.) + 5H_2O(ж.) = CuSO_4 \cdot 5H_2O(тв.)$  сложно измерить непосредственно из-за плохого контакта термометра с твердым веществом, замедленности процессов с твердым веществом и т. п. Поэтому обычно теплоту подобных процессов определяют методом расчета исходя из закона Гесса. Для этого измеряют две величины: молярные теплоты растворения безводной соли и кристаллогидрата – и находят разницу между ними.

*Определение молярной теплоты растворения безводной соли.* В калориметр поместите 150 см<sup>3</sup> дистиллированной воды и соберите калориметр, как в опыте 1. В сухую пробирку насыпается 0,015 моль взвешенной на технических весах безводной соли, для  $CuSO_4$  эта масса составляет 2,39 г. Дальнейшие измерения и расчет проводят как в опыте 1, но после высыпания твердой навески необходимо делать ежеминутные отсчеты, пока вся навеска не растворится.

Определение молярной теплоты растворения кристаллогидрата. Так же, как в предыдущем опыте, берется 0,015 моль кристаллогидрата, для  $CuSO_4 \cdot 5H_2O(тв.)$  эта масса составляет 3,74 г. Окончательный расчет теплоты гидратации проводится по формуле

$$\Delta H(\text{гидратации}) = \Delta H(\text{раств. безв. соли}) - \Delta H(\text{раств. крист.})$$

*По результатам работы сделать вывод.*

## ЛИТЕРАТУРА

### *Основная*

1. Барковский, Е. В. Введение в химию биогенных элементов и химический анализ: учеб. пособие / Е. В. Барковский, С. В. Ткачев, Г. Э. Атрахимович и др. – М.: Высшая школа, 1997. – 126 с.
2. Биохимия животных: Учебник для студ. зооинженер. и ветеринарн. ф-тов с/х вузов / А.В. Четкин, И.Д. Головацкий, П.А. Калиман, В.И. Воронянский /Под ред. проф. А.В.Четкина. – М., Высш. школа, 1982. – 511 с.
3. Грандберг, И.И. Органическая химия: Учебник для студентов вузов обучающихся по агрономическим специальностям 6-ое изд, стереотипное. – Дрофа:– 2004. – 672 с.
4. Князев Д. А. Неорганическая химия/ Д. А. Князев, С. Н. Смарыгин. – М.: Высш. шк., 1990. - 425 с.
5. Кононский, А.И. Биохимия животных: учебник пособие для вузов/ А. И. Кононский. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1980. – 432 с.
6. Химия. Лабораторный практикум: учеб. пособие/А. Р. Цыганов, О. В. Поддубная, И. В. Ковалева, Т. В. Булак.–Минск: ИВЦ Минфина, 2015. – 320 с.
7. Химия. Общая химия с основами аналитической : учебно-методическое пособие / А. Р. Цыганов [и др.]. – Горки : БГСХА, 2012. – 204 с. ISBN 978-985-467-393-6.
8. Цыганов, А.Р. Биохимия практикум: учебное пособие / А.Р. Цыганов, И.В. Сучкова, И.В. Ковалева. – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – 150 с.
9. Цыганов, А. Р. Сборник задач и упражнений по химии : учеб. пособие / А. Р. Цыганов, О. В. Поддубная. – Минск : ИВЦ Минфина, 2013. – 234 с.

### *Дополнительная*

1. Алешин, В.А. и др. Практикум по неорганической химии - М.: Издат. Центр "академия", 2004. – 384 с.
2. Березов, Т.Т. Биологическая химия: учебник / Т.Т. Березов, Б.Ф. Коровкин. – М.: Медицина, 1998. - 704 с.
3. Белясова, Н.А. Биохимия и молекулярная биология: учеб. пособие. – Минск: Книжный дом, 2004. – 416 с.
4. Введение в лабораторный практикум по неорганической химии: Учеб. пособие / В.В. Свиридов, Г.А.Попкович и др. – Мн: Выш. шк., 2003. – 96с.
5. Зайцев, С.Ю. Биохимия животных. – Санкт-Петербург: Изд-во «Лань», 2004.- 382с.
6. Кудряшов Л. С. Физико-химические и биохимические основы производства мяса и мясных продуктов. - М.: ДеЛи принт, 2008. - 160 с.
7. Ленский, А. С. Введение в бионеорганическую и биофизическую химию / А. С. Ленский. – М.: Высшая школа, 1989.
8. Метревели, Т.В. Биохимия животных. Санкт-Петербург: Изд-во «Лань», 2004.- 295с.
9. Микробиологический анализ мяса, птицы и яйцепродуктов. /Под ред. Дж. К.Мида; пер. с англ. И.С.Горожанкиной.- М.: Профессия, 2009. - 384с.
10. Николаев, А.Я. Биологическая химия: учебник / А.Я. Николаев. – М.: Мед. информ. агенство, 2004. - 566 с.
11. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов: учебник для вузов/ Ю.А. Ершов, В.А. Попков и др. 6-е изд.,стер. М.: Высш. шк., 2007. – 560с.
12. Слесарев, В. И. Химия: основы химии живого: учебник для вузов / В. И. Слесарев. – СПб: Химиздат, 2001.
13. Угай, Я. А. Общая и неорганическая химия: учеб. для вузов. 4-е изд. - М.: Высш. шк., 2004. – 440 с.

14. Хазипов, Н.З. Биохимия животных: учебник / Н.З. Хазипов, А.Н. Аскарова. – Казань: КГАВМ, 2003. – 312 с.

***Справочники***

1. Кольман, Я., Рем, К.-Г. Наглядная биохимия: Пер. с нем. — М.: Мир, 2000. - 469 с.

2. Лидин, Р.А. Химические свойства неорганических веществ/ Под ред. Р.А. Лидина. – 5-е изд., стер. – М.: КолосС, 2008, - 480 с.: ил.

Составители

**Поддубная** Ольга Владимировна

**Ковалева** Ирина Владимировна

**Мохова** Елена Владимировна