



Учреждение образования  
«Белорусская государственная  
орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени  
сельскохозяйственная академия»



**Кафедра биологии растений и химии**

# **ХИМИЯ**

**Лабораторный практикум**

**Лабораторная работа**

**Измерение тепловых эффектов химических реакций и  
физических процессов (калориметрия)**



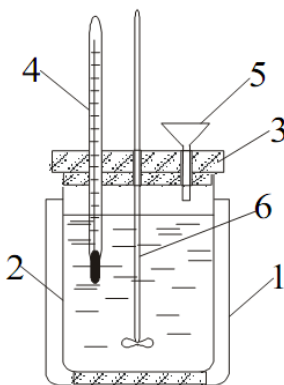
## Лабораторная работа Измерение тепловых эффектов химических реакций и физических процессов (калориметрия)

**Цель работы:** научиться калориметрически определять тепловой эффект (энтальпию) реакций нейтрализации щелочи кислотой, теплоту гидратации кристаллогидратов.

**Оборудование и материалы:** пробирки, пипетки, калориметр, растворы соляной кислоты, серной кислоты, азотной кислоты, гидроксида натрия.

**Ход работы.** Тепловой эффект химической реакции ( $Q$ ) обычно измеряют при постоянных давлении и температуре и отсутствии полезной работы. В этих условиях тепловой эффект соответствует изменению термодинамической функции энтальпии ( $\Delta H$ ).

Поэтому в практической калориметрии измеряют изменение температуры  $\Delta t$  реакционной смеси (или другой системы) в градусах. Реакционную смесь при этом теплоизолируют, чтобы переход тепла меньше влиял на измерение температуры. В данной работе используется простейшая теплоизоляция внутреннего реакционного стакана за счет двухслойной воздушной прослойки (рис. 1). В научной работе пользуются сосудами с многослойными посеребренными стенками, из промежутка между которыми откачан воздух (типа сосудов термосов).



**Рис. 1. Схема простейшего калориметра:**

1 – наружный стакан; 2 – внутренний стакан;  
3 – крышка; 4 – термометр; 5 – воронка; 6 – мешалка

В данной лабораторной работе теплоемкость будет определяться упрощенным расчетным методом. Так как будут изучаться разбавленные водные растворы, то будет учитываться только теплоемкость воды (основной вклад) и стеклянного стакана с мешалкой (меньший вклад). Вклад в общую теплоемкость растворенных ве-



ществ, стекла и ртути термометра, воздуха над и вокруг стакана значительно меньше и им в простейших опытах пренебрегают.

Количество теплоты, выделившейся или поглощенной в ходе реакции, определяется по известной формуле

$$Q = K \cdot \Delta T, \quad (1)$$

где  $K$  – теплоемкость калориметра;

$\Delta T$  – изменение температуры в ходе реакции.

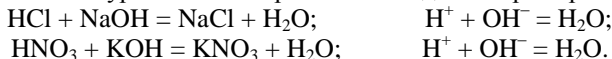
Удельная (это слово означает приведение к единице массы) теплоемкость воды равна  $4,2 \text{ Дж}/(\text{г} \cdot ^\circ\text{C})$ <sup>1</sup>. Удельная теплоемкость различных сортов стекла несколько разная, но для большинства лабораторных стекол ее можно принять равной  $0,7 \text{ Дж}/(\text{г} \cdot ^\circ\text{C})$ . Плотность растворов принимается за 1, т. е. если отмерили, к примеру, 100 мл первого раствора и 15 мл второго, то суммарная теплоемкость соответствует 115 г воды. Если стеклянный стакан с мешалкой имеет массу, к примеру, 100 г, то суммарная теплоемкость системы составит:

$$C = 115 \text{ г} \cdot 4,2 \text{ Дж}/(\text{г} \cdot ^\circ\text{C}) + 100 \text{ г} \cdot 0,7 \text{ Дж}/(\text{г} \cdot ^\circ\text{C}) = 553 \text{ Дж}/^\circ\text{C}. \quad (2)$$

При изучении химических реакций рассчитанное изменение энтальпии принято пересчитывать к одному молю одного из участвующих веществ. Для этого рассчитанное по формуле (1)  $Q$  делят на количество молей прореагировавшего или выделившегося вещества.

В предложенном калориметре используется стеклянная мешалка с гибкой связью резиновой трубкой с металлической осью электромотора. Перед разборкой прибора после извлечения термометра следует сразу отсоединить стеклянную ось мешалки от резиновой трубки. Для этого, придерживая одной рукой (обычно левой) ось мешалки, правой 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.

**Опыт 1. Измерение теплоты реакции нейтрализации.** Реакцией нейтрализации называется взаимодействие сильных кислот со щелочами, которое описывается одним и тем же ионным уравнением образования воды. Например:



По этой причине теплота нейтрализации не зависит от состава кислот и щелочей и всегда равна одной и той же величине  $-57,2 \text{ кДж}/\text{моль}$ .

Реакция между любой сильной кислотой и любым сильным основанием, если записать ее в сокращенной ионной форме, будет выглядеть одинаково:  $\text{H}^+ + \text{OH}^- = \text{H}_2\text{O}$ . Поэтому и теплота нейтрализации не будет зависеть от того, какую именно сильную кислоту и щелочь взять.

После разборки прибора в сполоснутый и вытряхнутый от воды стеклянный стакан (вместе с мешалкой его масса составляет приблизительно 100 г, но для повыше-



ния точности можно взвесить на технических весах) налейте 150 мл 0,1н. NaOH (пипеткой объемом 50 мл 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 неё резиновую трубку. Поворачивая вручную железную ось мотора, убедитесь, что мешалка вращается на небольшой высоте над днищем стакана без заедания. В широкое отверстие крышки вставьте пробирку, предварительно налив в нее пипеткой 10 или 10,77 мл ~2н. HCl (кислота для качественного анализа с неподписанной концентрацией). Зажимом отрегулируйте ее высоту, чтобы она была как можно глубже погружена в щелочь (чтобы быстрее уравнилась температура), но не задевала мешалку. После этого можно установить термометр, убедиться, что его «шарик» полностью погружен в жидкость, но не задевается мешалкой. После этого включается электромотор.

Найдите конец ртутного столбика и убедитесь, что он находится под углом не менее  $1,5^\circ$  от краев шкалы. Проследите за тем, чтобы столбик ртути не имел разрывов. Обратитесь к преподавателю или лаборанту, если имеется разрыв или конец столбика ртути не находится в средней части термометра. Не пытайтесь сами перенастроить термометр, лучше подгоните температуру раствора, слегка нагрев его или охладив. Или воспользуйтесь термометром на интервал  $0-50^\circ\text{C}$  с ценой деления  $0,1^\circ$ , которому настройка не требуется.

Отметьте время и начните отсчитывать и записывать температуру один раз в минуту. Всегда есть небольшая разница температур, поэтому температура при ее измерении термометром с делениями  $0,01^\circ$  будет меняться непрерывно. Сделайте не менее пяти отсчетов. Извлеките пробирку с кислотой за зажим и быстро влейте ее в щелочь сквозь отверстие. Обратно пробирку вставлять не нужно. Продолжайте делать отсчет температуры в том же темпе и сделайте еще не менее пяти отсчетов после смешения реагентов.

Результаты занесите в таблицу.

Время, мин	0	1	2	3	4	5	5,5	6	7	8	9	10
t, условн. $^\circ$							слив.					

По результатам измерений постройте график. Отведите не менее 10 см на  $1^\circ$  (график должен быть расположен на весь тетрадный лист). Лучше воспользоваться миллиметровой бумагой. График состоит из двух слабо наклонных (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  $\Delta t$ .



Рассчитайте теплоемкость по образцу формулы (2), подставив свои значения. Затем рассчитайте тепловой эффект по формуле (1). Разделив его на количество моль прореагировавших веществ (0,015 моль), вы найдете молярную теплоту нейтрализации.

**Опыт 2. Измерение теплоты гидратации кристаллогидратов.** Теплоту гидратации в реакциях типа  $\text{CuSO}_4(\text{тв.}) + 5\text{H}_2\text{O}(\text{ж.}) = \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}(\text{тв.})$  сложно измерить непосредственно из-за плохого контакта термометра с твердым веществом, замедленности процессов с твердым веществом при взятии жидкости без избытка 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:

$$\Delta H(\text{гидратации}) = \Delta H(\text{раств. безв. соли}) - \Delta H(\text{раств. крист.}) \quad (3)$$

**Ход опыта.** Заранее подготовьте две сухие пробирки. Мокрую пробирку можно высушить в пламени горелки и охладить на воздухе в течение не менее 15 мин.

*Определение молярной теплоты растворения безводной соли.* В калориметр поместите 150 мл дистиллированной воды и соберите калориметр так, как в опыте 1. Отличие заключается лишь в том, что вместо щелочи наливается чистая вода, а в сухую пробирку вместо кислоты насыпается 0,015 моль взвешенной на технических весах безводной соли (для  $\text{CuSO}_4$  это 2,39 г). Дальнейшие измерение и расчет такие же, как в опыте 1. Еще одно отличие от опыта 1 заключается в том, что после всыпания твердой навески необходимо сделать не пять измерений, а больше (продолжать ежеминутные отсчеты, пока вся навеска не растворится, плюс еще пять точек после полного растворения навески).

*Определение молярной теплоты растворения кристаллогидрата.* Данный опыт выполняется точно так же, как и опыт по определению молярной теплоты растворения безводной соли, но берется 0,015 моль кристаллогидрата (для  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}(\text{тв.})$  это 3,74 г).

Окончательный расчет теплоты гидратации выполняется по формуле (3).



## ЛИТЕРАТУРА

### Основная

1. Ахметов, Н. С. Общая и неорганическая химия: Учебник для вузов/ Н. С. Ахметов. – М.: Высш. шк., 2006. – 743. .
2. Барковский, Е. В. Аналитическая химия: Учеб. пособие/ Е. В. Барковский. – Мн.: Высш. шк., 2004. – 351 с.
3. Барковский, Е. В. Введение в химию биогенных элементов и химический анализ: Учеб. пос./ Е. В. Барковский, С. В. Ткачев и др. – М.: Высш. шк., 1997. –126 с.
4. Болдырев, А. И. Физическая и коллоидная химия. – М.: Высш. шк., 1983.
5. Гольбрайх, З. Е. Сборник задач и упражнений по химии: Учеб. пособие/ З. Е. Гольбрайх.–М.:ООО «Издательство Астрель»,2004.–383с
6. Грандберг, И.И. Органическая химия: Учеб. для студ. вузов обучающихся на агрономических специальностях/ И. И. Грандберг. – М.: Дрофа, 2004. –672 с.
7. Князев Д. А. Неорганическая химия: Учебник для вузов/ Д. А. Князев, С. Н. Смарилин. – М.: Высш. шк., 1990. – 430 с.
8. Руководство к изучению курса “Общая и неорганическая химия”: Пособие для студентов нехимических специальностей/ И. Е. Шиманович [и др.]; под ред. И.Е. Шимановича. – 3-е изд. – Минск: РИВШ, 2008. – 112 с.
9. Химия. Лабораторный практикум: учеб. пособие/А. Р. Цыганов, О. В. Поддубная, И. В. Ковалева, Т. В. Булак.–Минск: ИВЦ Минфина, 2015. – 320 с.
10. Угай Я. А. Общая и неорганическая химия: Учебник для вузов/ Я. А. Угай. 4-е изд. – М.: Высш. шк., 2004. – 440 с.
11. Химия: учебно-методический комплекс: Учебно-методическое пособие / О. В. Поддубная, И.В. Ковалева и др. – Горки: БГСХА, 2011. – 452 с. ISBN 978-985-467-359-2
12. Хмельницкий, Р. А. Физическая и коллоидная химия: Учебник для вузов/ Р. А. Хмельницкий. – М.: Высш. шк., 1988.
13. Цитович, Н. К. Курс аналитической химии: Учебник для вузов/ Н. К. Цитович. – М.: Высш. шк., 1987. – 403 с.
14. Цыганов, А. Р. Сборник задач и упражнений по химии: Учеб. пособие / А. Р. Цыганов, О. В. Поддубная. – Минск: ИВЦ Минфина, 2013. – 236 с.
15. Щербина, А.Э. Органическая химия. Задачи и упражнения: Учеб. пособие / А.Э. Щербина, Л.Г. Матусевич, И.В. Сенько. – Минск : Новое знание, 2007. – 304 с.

### Дополнительная

1. Белясова, Н.А. Биохимия и молекулярная биология: Учеб. пособие/ Н.А. Белясова. – Минск: Книжный дом, 2004. – 416 с.
2. Введение в лабораторный практикум по неорганической химии: Учеб. пособие / В.В. Свиридов, Г.А.Попкович и др. – Мн : Высш. шк., 2003. – 96 с.
3. Дорохова, Е. Н. Аналитическая химия. Физико-химические методы анализа: Учебник для почвенно-агрохимических специальностей / Е. Н. Дорохова, Г. В. Прохорова. – М.: Высш. шк., 1991. – 354 с.
4. Жарский, И. М. Теоретические основы химии: сборник задач: Учеб. пособие. – Минск.: Аверсев, 2004. – 397 с.
5. Практикум по общей и биоорганической химии: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / под ред. В. А. Попкова. – 3-е изд. – М.: Изд. центр «Академия», 2008. – 240 с.
6. Слесарев, В. И. Химия: основы химии живого: Учебник для вузов / В. И. Слесарев. – СПб: Химиздат, 2001. – 784 с.
7. Степин, Б. Д. Неорганическая химия: Учебник для вузов/ Б. Д. Степин, А.А. Цветков. – М.: Высш. шк., 1994. – 608 с.

### Справочники:

1. Краткий химический справочник. – М.: Химия, 1977.
2. Кольман, Я. Наглядная биохимия: Пер. с нем/ Я.Кольман, К.Г. Рем. – М.: Мир, 2000. – 469 с.



Учреждение образования  
«Белорусская государственная  
орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени  
сельскохозяйственная академия»



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

Составители

**Поддубная** Ольга Владимировна  
**Ковалева** Ирина Владимировна  
**Мохова** Елена Владимировна  
**Шагитова** Марина Николаевна