



Серыя «У дапамогу педагогу»
заснавана ў 1995 годзе



Рэдакцыйная калегія:

МЫЧКО ДЗМІТРЫЙ ІВАНАВІЧ, галоўны рэдактар,
кандыдат хімічных навук, дацэнт
ІЛЬІНА НАТАЛЛЯ АНДРЭЎНА, намеснік
галоўнага рэдактара, кандыдат хімічных навук,
дацэнт
КАРЭЎСКІ АЛЯКСАНДР ЯЎГЕНЬЕВІЧ, намеснік
галоўнага рэдактара, кандыдат біялагічных навук,
дацэнт
КОНЫШАВА АЛЕНА ФЭДАРАЎНА, адказны сакратар

Аляксеева А. А.
Апостал Н. А., кандыдат педагагічных навук, дацэнт
Арол Н. М., кандыдат біялагічных навук, дацэнт
Баршчэўская А. В.
Бяльніцкая А. А.
Гарбар А. Я.
Калевіч Т. А., кандыдат хімічных навук
Клявец І. Р.
Кулікова Ю. А., кандыдат біялагічных навук
Манкевіч Н. У.
Палікарпава Ю. У.
Песнякевіч А. Г., кандыдат біялагічных навук, дацэнт
Сеген А. А.
Уласавец Я. М.

Заснавальнік і выдавец —
Рэспубліканскае ўнітарнае прадпрыемства
«Выдавецтва «Адукацыя і выхаванне»»
Міністэрства адукацыі
Рэспублікі Беларусь

Навукова-метадычны часопіс
Выдаецца са студзеня 2013 года
Пасведчанне аб дзяржаўнай рэгістрацыі сродку
масавай інфармацыі № 1575 ад 11.10.2012 г.,
выдадзенае Міністэрствам інфармацыі
Рэспублікі Беларусь

Выходзіць 6 разоў у год
Установа «Нацыянальны інстытут адукацыі»
Міністэрства адукацыі Рэспублікі Беларусь
вул. Караля 16, 220004 г. Мінск, Рэспубліка Беларусь

3(81) • 2020

МАЙ — ЧЭРВЕНЬ

Біялогія і хімія

Рэдакцыйная рада:

СВІРЫДАЎ ДЗМІТРЫЙ ВАДЗІМАВІЧ, старшыня
рэдакцыйнай рады часопіса, доктар хімічных навук,
член-карэспандэнт НАН Беларусі, прафесар

Аршанскі Я. Я., доктар педагагічных навук, прафесар
Бурдзь В. М., доктар хімічных навук, прафесар
Грыгчык В. В., доктар біялагічных навук, прафесар
Гулевіч А. Л., доктар хімічных навук, прафесар
Жукава Т. В., доктар біялагічных навук, прафесар
Кулікоў Я. К., доктар біялагічных навук, прафесар
Кунцэвіч З. С., доктар педагагічных навук, прафесар
Назарэнка В. М., доктар педагагічных навук, прафесар
Навумчык В. М., доктар педагагічных навук, прафесар
Нявераў А. С., доктар тэхнічных навук, прафесар
Роганаў Г. М., доктар хімічных навук, прафесар
Чумак А. Г., доктар біялагічных навук, прафесар
Чыркін А. А., доктар біялагічных навук, прафесар

Вул. Будзённага, 21, 220070, г. Мінск;
тэл.: 297-93-19 (адк. сакратар),
297-93-25 (адзел продажу),
факс: 297-91-49
e-mail: biohim@aiv.by
e-mail: aiv@aiv.by
http://www.aiv.by

Методыка выкладання

**Т. Н. Мякинник,
Е. Я. Аршанский** Формирование у учащихся умений самоуправления учебной деятельностью при выполнении количественных расчётов по химии. 3

**Д. И. Мычко,
А. С. Берестнев** Использование программно-аппаратного комплекса с датчиком температуры для определения тепловых эффектов химических реакций. 16

3 вопыту работы

О. Г. Головешкина Реализация дистанционного обучения в современной школе 26

Майстар-клас

Е. В. Морозова Использование методов и приёмов работы с текстом на уроках химии 32

Па-за старонкамі падручніка

Н. М. Орёл Структурно-функциональная организация клетки: ядро 40

Рыхтуемса да алімпіяды

В. Н. Туманов Адаптация растений к неблагоприятным факторам внешней среды. 47

Пазакласная работа

**В. И. Резяпкин,
А. Е. Каревский** Актуальные вопросы биологии на внеклассных занятиях: организация геномов прокариот 62

Старонкі гісторыі

Г. А. Браницкий Воспоминания студента и декана об учёбе и работе на химическом факультете БГУ в послевоенные годы 67

Рэдактар *А. Ф. Коньшава*, карэктар *Л. М. Сцяпанавы*,
камп'ютарны набор, макет і вёрстка *І. А. Цвірко*.

Выхад у свет 29.06.2020. Фармат 60×84 1/8. Друк афсетны.
Папера афсетная. Ум. друк. арк. 7,9. Ул.-выд. арк. 8,4. Тыраж 572. Заказ 49. Цана свабодная.

Паштовы адрас рэдакцыі часопіса «Біялогія і хімія»:
вул. Будзённага, 21, 220070, г. Мінск; тэл.: 297-93-19, 209-55-16.

Надрукавана ў друкарні Таварыства з абмежаванай адказнасцю «СУГАРТ».
ЛП № 02330/427 ад 17.12.2012. Вул. Кнорына 50, корп. 8, каб. 305, 220103, г. Мінск.

Использование программно-аппаратного комплекса с датчиком температуры для определения тепловых эффектов химических реакций

Д. И. Мычко, доцент кафедры неорганической химии Белорусского государственного университета, кандидат химических наук, доцент,

А. С. Берестнев, методист первой категории отдела по обеспечению средствами обучения Национального института образования, магистр педагогических наук, аспирант лаборатории математического и естественнонаучного образования Национального института образования

Аннотация. В статье рассмотрены методические особенности использования датчика температуры в составе программно-аппаратного комплекса в демонстрационном эксперименте по темам «Химические реакции. Тепловой эффект химической реакции. Реакции экзо- и эндотермические. Термохимические уравнения», XI класс.

Ключевые слова: тепловой эффект химической реакции, демонстрационный эксперимент, датчик температуры, программно-аппаратный комплекс.

Abstract. The article discusses the methodological features of using a temperature sensor as part of a hardware and software complex in a demonstration experiment on the topics «Chemical reactions. Thermal effect of a chemical reaction. Exo- and endothermic reactions. Thermochemical equations», XI class.

Keywords: thermal effect of a chemical reaction, demonstration experiment, temperature sensor, software and hardware complex.

Формирование понятия «тепловой эффект химической реакции» и связанных с ним представлений об экзо- и эндотермических реакциях, термохимическом уравнении является обязательным компонентом учебных программ базового и повышенного уровней изучения химии. Существующие проблемы с восприятием учащимися этого материала связаны с появлением новой для них физической величины — тепловой эффект химической реакции и со сложностью организации как демонстрационного эксперимента, так и лабораторных опытов, визуализирующих новые для учащихся понятия. В то же время эти понятия следует отнести к одним из важнейших, без которых нельзя сформировать представления об использовании энергии химических реакций, её преобразовании в другие виды энергии, калорийности питания. С этими понятиями связано формирование важнейших мировоззренческих представлений:

о причинах превращения веществ, об энергии химической связи, о законе сохранения и превращения энергии, об источниках энергии и др. Эта тема имеет междисциплинарный характер, связывающий химию с физикой (тепловые явления, температура, термодинамика и её законы, теплоёмкость, количество теплоты, к. п. д.), биологией (энергетический обмен), географией (география энергетики мира, энергетические проблемы, рациональное природопользование).

Новые возможности для освоения представлений об энергетике химических процессов открывает поступающий в школы программно-аппаратный комплекс (ПАК) с комплектом датчиков [1]. Его использование позволяет не только в виде реального эксперимента проиллюстрировать закономерности в тепловых эффектах химических реакций, но и познакомиться с методами поиска этих закономерностей.

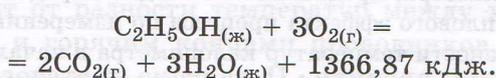
Цель представленной вашему вниманию статьи — познакомить учителей с методическими особенностями использования датчика температуры в составе ПАК в демонстрационном эксперименте по темам 4 (базовый уровень) и 5 (повышенный уровень) «Химические реакции. Тепловой эффект химической реакции. Реакции экзо- и эндотермические. Термохимические уравнения», XI класс.

Краткое теоретическое введение к изучаемому материалу

Химические реакции — это превращения одних веществ в другие. Их протекание связано с разрывом химических связей в исходных веществах и образованием новых связей в продуктах реакции. Разрыв химических связей требует затраты энергии, а при образовании химических связей энергия выделяется. Поэтому любая химическая реакция сопровождается тепловым эффектом.

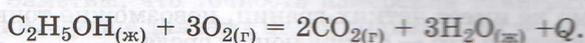
Тепловым эффектом химической реакции называется количество теплоты, которое выделяется или поглощается в результате процесса, протекающего без совершения работы (при постоянном давлении или постоянном объеме), а продукты реакции имеют ту же температуру, что и исходные вещества.

Значение теплового эффекта химической реакции принято указывать с использованием *термохимического уравнения*. Например, для реакции окисления этанола это уравнение принимает следующий вид:

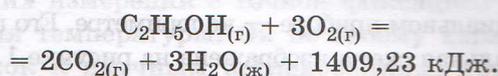


Из записи уравнения следует, что в стандартных условиях (давление 1 бар, температура 295 К) при сгорании в кислороде 1 моль этанола выделяется 1366,87 кДж энергии в виде теплоты. Таким образом, тепловой эффект этой реакции равен 1366,87 кДж/моль.

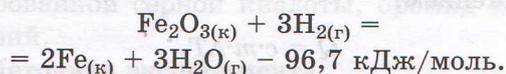
Реакции, протекание которых сопровождается выделением энергии в виде теплоты, называются *экзотермическими*. В общем виде термохимическое уравнение таких реакций записывается так:



Заметим, что в термохимических уравнениях принято указывать на агрегатное состояние реагентов и продуктов реакции, от состояния которых зависит тепловой эффект. Например, тепловой эффект окисления того же этанола, но находящегося в газообразном состоянии, будет составлять 1409,23 кДж/моль, и термохимическое уравнение примет вид:



Если для осуществления химической реакции требуется затратить энергию, т. е. она протекает с поглощением теплоты, то такие химические реакции называют *эндотермическими*. В них перед значением теплового эффекта ставится знак «-». Например, термохимическое уравнение реакции восстановления оксида железа(III) записывают в следующем виде:



В приведённых уравнениях индексами обозначены следующие агрегатные состояния вещества: г — газообразное; ж — жидкое; к — кристаллическое.

Подчеркнём, что «теплота химической реакции» и «тепловой эффект химической реакции» не тождественны. Так, само по себе увеличение объёма системы приводит к уменьшению её температуры, а уменьшение (сжатие) — к увеличению температуры. Это, как очевидно, не является следствием протекающей химической реакции. Аналогично, если при протекании химической реакции часть выделившейся энергии была затрачена на совершение работы, то измеренное количество теплоты будет отражать только часть теплового эффекта реакции.

Раздел химии, задача которого состоит в определении тепловых эффектов химических процессов и установлении закономерностей в значениях их величин, называется *термохимией*.

Основным экспериментальным методом термохимии является *калориметрия*. Её суть заключается в прямом измерении количества теплоты, сопровождающей химическую реакцию или какой-либо иной процесс [2].

В одном из вариантов метода калориметрических измерений теплота исследуемого процесса определяется на основе измерения изменений температуры ΔT в течение опыта. Это согласуется с третьим постулатом (исходным положением) термодинамики: *при заданных внешних параметрах энергия системы является монотонной функцией температуры.*

Обычно калориметрический процесс проводят в специальном приборе — калориметре. Его принципиальная схема изображена на рисунке 1.

Принцип использования таких приборов основан на том, что калориметрической жидкости передаётся определённое количество теплоты за счёт исследуемого процесса. О количестве выделившейся или поглощённой теплоты судят по изменению температуры, которая регистрируется как функция времени.

В общем виде зависимость между изменением температуры (ΔT) и количеством выделившейся теплоты (Q) можно представить выражением:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T,$$

где c — удельная теплоёмкость системы, в которой протекает химическая реакция, m — масса этой системы.

Сосуд, в котором протекает химическая реакция (3, рис. 1), погружают в калориметрический сосуд так, чтобы реагенты находились ниже уровня калориметрической жидкости. В результате протекающих процессов выделяется или поглощается теплота Q . По достижении температурного равновесия между температурой в сосуде с реагентами и калориметрической жидкостью во внешнем сосуде температура калориметрической жидкости (T_k) отличается от начальной:

$$\Delta T_k = T_{\text{кон}} - T_{\text{нач}}.$$

Очевидно, это происходит в результате передачи теплоты, выделившейся в результате протекающего процесса. Значение этой теплоты можно связать с изменением температуры калориметрической жидкости уравнением:

$$Q = W \cdot \Delta T_k,$$

где W — тепловое значение калориметра, или энергетический эквивалент калориметра.

По физическому смыслу W — это то количество теплоты, которое необходимо для нагревания содержимого калориметра на 1 градус.

Значение W может быть рассчитано¹, однако на практике тепловое значение W определяют экспериментально по измерению температуры ($\Delta T_{\text{калибр}}$) в процессе с заранее известным тепловым эффектом ($Q_{\text{калибр}}$):

$$W = \frac{Q_{\text{калибр}}}{\Delta T_{\text{калибр}}}.$$

Точность измерения температуры определяет и точность измерения тепловых эффектов. Отсюда понятно, что использование датчика температуры повышает точность измерения теплового эффекта по сравнению с использованием тех спиртовых термометров, которые имеются в наличии в школах.

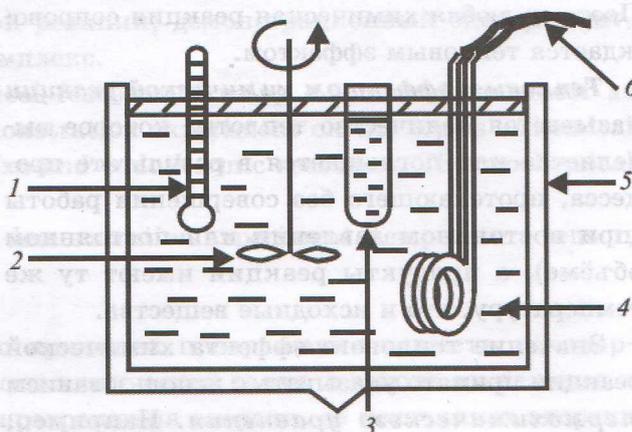


Рисунок 1 — Принципиальная схема калориметра, предназначенного для определения теплового эффекта процесса по измерению разности температур калориметра в начале и конце опыта: 1 — датчик температуры (термометр, термопара или др.); 2 — мешалка; 3 — сосуд, в котором протекает химическая реакция; 4 — калориметрическая жидкость; 5 — калориметрический сосуд; 6 — нагреватель

В состав датчика температуры, который используется в ПАК, входят чувствительный элемент (хромель-алюмелевая термопара марки ТХА(К)-1199/51) и цифровой преобразователь сигнала.

¹ При расчёте значения W надо учитывать теплоёмкость и массу веществ и материалов, которые входят в состав калориметра. Всё это сделать достаточно сложно, и результаты расчёта дают лишь ориентировочное значение, поскольку калориметрическая система не имеет чётких границ, невозможно точно узнать массу того, что принадлежит собственно калориметру, а что — окружающей среде.

Поскольку учащиеся могли не сталкиваться ранее с использованием термопары, им необходимо пояснить принцип её действия как чувствительного элемента на изменение температуры.

Простейшая термопара представляет собой два разнородных металлических проводника, соединённых друг с другом в одной точке. Соединение может быть выполнено в виде скрутки, пайки или сварки (рис. 2).

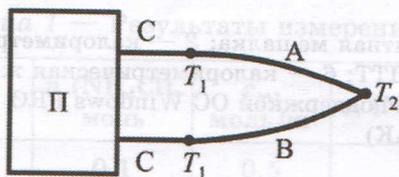


Рисунок 2 — Принципиальная схема датчика температуры: П — преобразователь сигнала; А и В — разнородные металлические проводники, соединённые в точке (термопара)

Принцип действия термопар основан на термоэлектрическом эффекте. Суть его состоит в следующем. Последовательно соединённые друг с другом два разнородных металлических проводника А и В образуют замкнутую электрическую цепь (рис. 2). Если поместить соединённый конец такой термопары в среду с температурой T_2 , которая больше (меньше) температуры T_1 , то между свободными концами проводников возникает разность потенциалов, а в цепи — электродвижущая сила (ЭДС). Данную электродвижущую силу называют термо-ЭДС. Под действием термо-ЭДС в замкнутой цепи начинает протекать электрический ток. Значение термо-ЭДС зависит от разности температур между холодным и горячим концами проводников. Преобразователь сигнала П, измеряя значение силы тока или напряжения в цепи, преобразует их в определённое цифровое значение, соответствующее температуре (T_2) в месте соединения проводников термопары. Это значение высвечивается на мониторе мультиметра².

Термохимические исследования требуют прецизионных измерений, что достаточно сложно организовать. Поэтому эти исследования проводят в нескольких научных центрах.

² Заметим, что точность измерения температуры определяет точность калориметрических измерений. Лучше для этих целей подходил бы термометр Бекмана с точностью измерений до сотых градуса. У термопары точность измерения, как правило, находится в пределах 1–2 градусов.

Экспериментальная часть

Эксперимент по демонстрации и изучению тепловых эффектов можно проводить в двух вариантах. Первый можно назвать качественным, когда характер изменения температуры указывает на положительный или отрицательный тепловой эффект реакции. Вторым вариантом предполагает проведение калориметрических измерений с точной фиксацией изменения температуры. Он по своему характеру близок к научным исследованиям, хотя, по понятным причинам, отличается от них точностью измерений. Поэтому полученные результаты, скорее, можно отнести к полуколичественным. О возможности их использования в проведении вычислений указывают данные ниже описанного эксперимента.

Оборудование: штатив, калориметрическая установка (рис. 3), стаканы 50–100 мл, весы (с точностью измерение не менее 0,01 г), дистиллированная вода, %-ный раствор концентрированной серной кислоты, бромид калия, натрий.

Методика эксперимента.

Определение теплового эффекта реакции калориметрическим методом проводилось в калориметрической установке, схема которой представлена на рисунке 3.

В качестве наружного стакана использовали химический стакан ёмкостью 600 мл и массой 210 г. В него наливали 250 мл дистиллированной воды (калориметрическая жидкость) и помещали термопару.

Внутренний стакан, в котором протекал изучаемый процесс, имел объём 250 мл и массу 99 г. В него наливали 200 мл дистиллированной воды и после включения датчика температуры через воронку вводили необходимое количество реагента. Для перемешивания раствора на дно стакана помещали «якорь» (вращающийся элемент магнитной мешалки, рис. 4). Перемешивание жидкости мешалкой обречает быстрое достижение теплового равновесия.

Для поддержания постоянной во всех опытах исходной температуры (25 °С) вода в калориметре подогревалась на магнитной мешалке.

На весах с точностью 0,01 г взвешивались все компоненты калориметрической системы и реагенты.

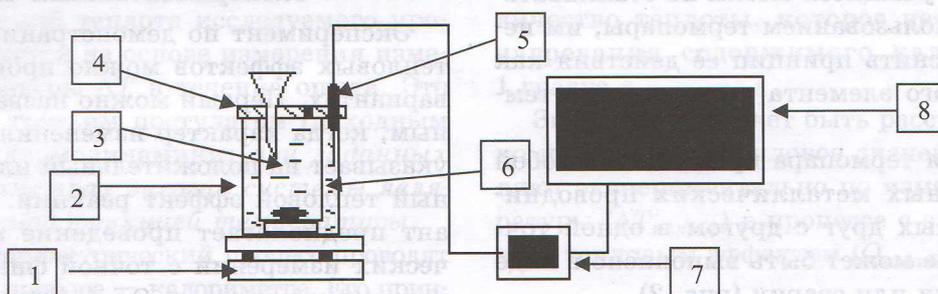


Рисунок 3 — Схема калориметрической установки: 1 — магнитная мешалка; 2 — калориметрический сосуд; 3 — сосуд с реагентами; 4 — крышка; 5 — термопара ДТТ; 6 — калориметрическая жидкость; 7 — цифровой преобразователь ДТТ; 8 — мультиметр (с поддержкой ОС Windows PRO 10 и установленным ПО ПАК)

Датчик температуры в рабочее состояние приводился в последовательности, указанной в [1].

Измерения выполнялись в следующей последовательности:

1. В калориметрическом стакане устанавливалась температура 25 °С, и это значение как $T_{\text{нач}}$ заносилось в таблицу;

2. Включалось перемешивание раствора и вносилось предварительно взвешенное количество реагента;

3. Окончание процесса фиксировалось по неизменяющемуся в течение нескольких минут значению температуры, которое заносили в таблицу как $T_{\text{кон}}$.

Каждое из приведённых значений температур воспроизводилось не меньше, чем в трёх независимых опытах.

Прежде чем начать измерения, необходимо уравновесить температуры калориметрической жидкости и реагентов. Не должны наблюдаться изменения температуры калориметрической жидкости. Наблюдаемое значение температуры считается начальным. После этого можно начать калориметрические измерения (соединить реагенты). На температурной кривой протекание процесса выразится резким скачком темпера-

туры. По окончании реакции изменение температуры снова станет равномерным.

Опыт 1. Определение энергетического эквивалента калориметра (постоянной калориметра).

Поскольку цель этого опыта вспомогательная — определить постоянную калориметра, — то его следует провести до демонстрационного эксперимента и не обязательно на уроке. Полученное значение этой постоянной, если не менять условия эксперимента, можно использовать при выполнении всех расчётов.

Теплоту растворения вещества можно определить с учётом значений масс и теплоёмкостей всех составляющих калориметра по уравнению:

$$Q = [c_{\text{р-ра}} \cdot (m_{\text{воды в стакане 2}} + m_{\text{в-ва}}) + c_{\text{стекла}} \cdot m_{\text{стаканов}} + c_{\text{термопары}} \cdot m_{\text{термопары}} + c_{\text{воды}} \cdot m_{\text{воды в стакане 1}}] \cdot \Delta T,$$

где $\Delta T = T_{\text{кон}} - T_{\text{нач}}$ — изменение температуры в ходе процесса растворения;

$c_{\text{р-ра}}$ — удельная теплоёмкость раствора, справочная величина, зависящая от концентрации раствора; для разбавленных растворов неорганических солей и кислот теплоёмкости практически одинаковы, и их значение можно принять равным теплоёмкости воды (4,18 Дж/(г·град));

$c_{\text{стекла}}$ — удельная теплоёмкость стекла стакана, в котором протекал процесс, равна 0,75 Дж/(г·град);

$m_{\text{воды}}$ — масса дистиллированной воды, в которой растворялось вещество;

$m_{\text{в-ва}}$ — масса растворяемого вещества.



Рисунок 4 — Вид используемого в эксперименте калориметра

Как отмечалось выше, использование этого уравнения в расчётах делает их трудоёмкими и вносит погрешности от ещё не учтённых при теплообмене составляющих. Поэтому, как это принято в термохимии, в проводимых опытах определялся энергетический эквивалент калориметра, значение которого во всех других опытах рассматривалось в качестве постоянной калориметра, поскольку масса

воды, участвующей в рассматриваемых процессах, практически оставалась постоянной (200–210 г), так же, как и масса полученного раствора (210–216 г).

Для измерения постоянной калориметра проводилось измерение температуры в процессе растворения хлорида аммония. Полученные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Результаты измерения изменения температуры при растворении в воде NH_4Cl

m воды, г	n (NH_4Cl), моль	c_m , моль/кг	n (NH_4Cl): n (H_2O)	$T_{\text{нач}}$, °С	$T_{\text{кон}}$, °С	ΔT_k , град	$Q_{\text{справ}}$, Дж/моль [3]
200	0,1	0,5	1:111	25	23	-2	-15,27

Согласно литературным данным, интегральная молярная теплота растворения NH_4Cl для раствора с молярной концентрацией 0,5 моль/кг (как и в наших измерениях) составляет -15,27 кДж/моль [3]³. Знак «-» указывает, что теплота в процессе растворения NH_4Cl в воде поглощается.

Сопоставив это значение с изменением температуры калориметрической жидкости в проводимых нами измерениях, найдём энергетический эквивалент калориметра из уравнения:

$$Q = W \cdot \Delta T_k,$$

где W — тепловое значение калориметра, или энергетический эквивалент калориметра.

При этом надо учесть, что в наших измерениях количество растворившегося NH_4Cl составляло 0,1 моль. Поэтому в вычислениях должны использовать значение Q , равное -1,527 кДж:

$$-1,527 \text{ кДж} = W \cdot (-2 \text{ град}),$$

$$W = 0,7635 \text{ Дж/град.}$$

С учётом точности проводимых измерений будем использовать округлённое значение этой величины, равное 0,8 Дж/град.

Демонстрационный эксперимент 1. Измерение теплоты растворения серной кислоты в воде.

Цель: на примере растворения серной кислоты в воде наглядно продемонстрировать тепловые процессы, которыми сопровождается растворение вещества. Познакомить учащихся с одним из способов измерения тепловых процессов.

Реагенты: 98% -ный раствор серной кислоты (5,35 г), дистиллированная вода (211 г).

Результаты измерения изменения температуры воды при растворении в ней серной кислоты представлены в таблице 2 и на рисунке 5.

Таблица 2 — Результаты измерения теплоты растворения серной кислоты в воде

m воды, г	n (H_2SO_4), моль	c_m , моль/кг	n (H_2SO_4): n (H_2O)	$T_{\text{нач}}$, °С	$T_{\text{кон}}$, °С	ΔT_k , град	Q , Дж	$Q_{\text{уд}}$, Дж/моль
210	0,0535	0,255	1:218	25	30	+5	4	74,1

С учётом постоянной калориметра:

$$Q_{\text{растворения}} = 0,8 \text{ кДж/град} \cdot \Delta T_k,$$

$$Q_{\text{растворения}} = 0,8 \text{ кДж/град} \cdot 5 \text{ град},$$

$$Q_{\text{растворения}} = 4 \text{ кДж.}$$

³ Интегральная молярная теплота растворения — количество теплоты, которое выделяется или поглощается при растворении 1 моль соли в некотором количестве воды с образованием раствора определённой молярной концентрации.

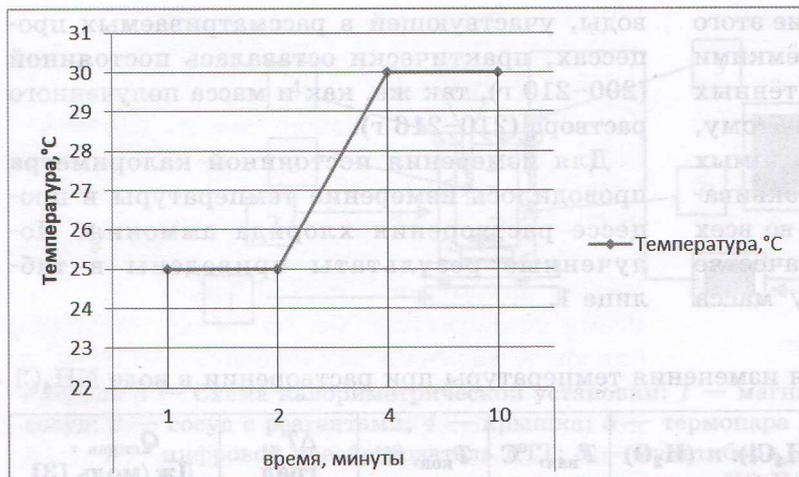


Рисунок 5 — Змінення температури калориметричної рідини при розчиненні концентрованої серної кислоти в воді

С урахунок кількості розчиненої серної кислоти (0,054 моль) удельна теплота розчинення серної кислоти в воді:

$$Q_{\text{уд. розчинення}} = \frac{Q}{n},$$

$$Q_{\text{уд. розчинення}} = 74,1 \text{ кДж/моль.}$$

Таким образом, теплота розчинення серної кислоти в воді становить порядку 74 кДж/моль. Це збігається з даними, за якими для розглянутої концентрації серної кислоти інтегральна теплота розчинення серної кислоти становить порядку 75 кДж/моль [3].

Відносна похибка вимірювань становить:

$$\delta = \frac{75 - 74}{75} \cdot 100\% = 1,3\%.$$

Це повністю задовільна точність вимірювань.

Обґрунтування досвіду

Процес розчинення речовин, як правило, супроводжується поглинанням або виділенням енергії.

Теплотою розчинення називається кількість теплоти, яку виділяється або поглинається при розчиненні 1 моль речовини в такому об'ємі розчинника, щоб при подальшому розбавленні розчину не спостерігалося зміни теплового ефекту.

Теплові ефекти, що відбуваються при розчиненні речовин, пояснюються тим, що при

розчиненні речовин відбувається декілька процесів:

- в-перших, руйнування структури розчиняемого речовини при переході її з індивідуального стану в розчин;
- в-других, взаємодія розчиненого речовини з розчинником (в разі розчинення в воді цей процес називається гідратацією);
- в-третьих, розподіл гідратів по всьому об'єму розчину (дифузія).

Всі ці процеси супроводжуються різними змінами енергії. Для руйнування структури розчиняемого речовини потрібна витрата енергії. Гідратація — взаємодія частинок розчинника з частинками розчиненого речовини — супроводжується виділенням енергії. Для дифузії характерен незначительний тепловий ефект, яким можна пренебрати.

Загальний тепловий ефект розчинення за законом Гесса дорівнює сумі складових його ефектів. Тому в залежності від співвідношення значень цих теплових ефектів процес розчинення речовини може бути ендотермічним або екзотермічним.

В ході проведеного експерименту було встановлено, що розчинення серної кислоти в воді супроводжується виділенням теплоти. Це можна пояснити тим, що при розчиненні концентрованої серної кислоти в воді відбувається її гідратація, супроводжується виділенням значительного кількості енергії. Цей процес розчинення серної кислоти нагадує звичайну хімічну реакцію, в ході якої старі зв'язки в молекулі серної кислоти руйнуються, а нові утворюються між молекулами (і іонами) розчиненого речовини і молекулами розчинника. Утворюються при розчиненні сполучення називають сольватами, а процес їх утворення — сольватацією. В разі, коли розчинником є вода, їх називають гідратами, а процес їх утворення — гідратацією.

Теплота розчинення одного моля речовини залежить від маси (об'єму) взятого розчинника. Наприклад, для серної кислоти існують такі експериментальні дані:

Масса воды (г) на 1 моль вещества	100	1000	10 000	∞
Q, кДж/моль	53,39	73,41	76,96	96,19

Теплота растворения серной кислоты увеличивается с разбавлением. Эти данные свидетельствуют о том, что в процессе гидратации участвуют все молекулы растворителя.

Теплота растворения вещества в определенном объеме растворителя называется *интегральной теплотой растворения*, а в бесконечно большом объеме растворителя — *дифференциальной теплотой растворения*.

Демонстрационный эксперимент 2. Измерение теплоты растворения бромида калия в воде.

Цель: наглядно продемонстрировать тепловые процессы, которыми сопровождается растворение солей (в частности, бромида калия) в воде. Познакомить учащихся с одним из способов измерения тепловых процессов.

Реагенты: бромид калия (11,9 г), дистиллированная вода (200 г).

Результаты измерения изменения температуры воды при растворении в ней бромида калия представлены в таблице 3 и на рисунке 6.

Таблица 3 — Результаты измерения теплоты растворения бромида калия в воде

m воды, г	n(KBr), моль	c _m , моль/кг	n(KBr): n(H ₂ O)	T _{нач} , °C	T _{кон} , °C	ΔT _к , град	Q, Дж	Q _{уд} , Дж/моль
200	0,1	0,5	1 : 111	25	23	-2	-1,6	-16

С учётом постоянной калориметра:

$$Q_{\text{растворения}} = 0,8 \text{ кДж/град} \cdot \Delta T_{\text{к}}$$

$$Q_{\text{растворения}} = 0,8 \text{ кДж/град} \cdot (-2 \text{ град}),$$

$$Q_{\text{растворения}} = -1,6 \text{ кДж.}$$

С учётом количества растворённого KBr (0,1 моль):

$$Q_{\text{уд.растворения}} = -16 \text{ кДж/моль.}$$

Таким образом, растворение KBr в воде сопровождается поглощением теплоты (уменьшение температуры раствора), значение которой, по полученным данным, составляет 16 кДж/моль. Это согласуется со справочными данными, по которым для рассматриваемой концентрации KBr интегральная теплота растворения составляет порядка -20 кДж/моль [4].

Относительная погрешность измерений составляет:

$$\delta = \frac{-20 - (-16)}{-20} \cdot 100\% = 20\%.$$

Обоснование опыта

Общий тепловой эффект растворения кристаллического вещества зависит от следующих тепловых эффектов:

- разрушения кристаллической структуры вещества; этот процесс всегда идёт с затратой энергии, которая определяется энергией кристаллической решётки вещества;

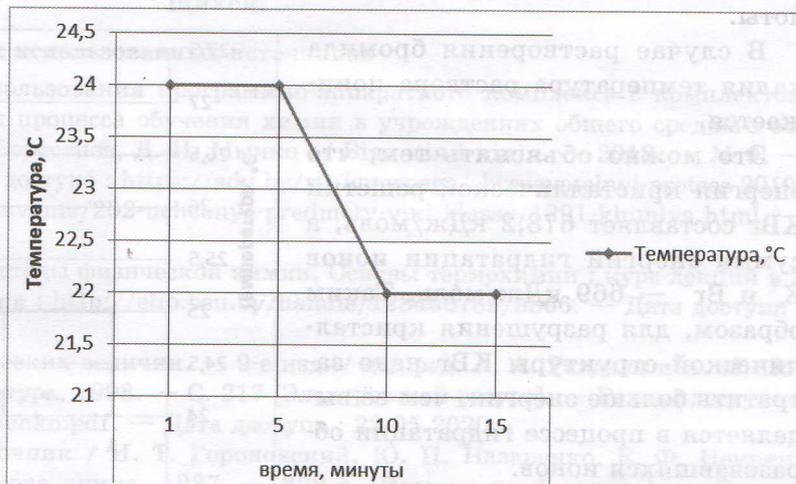


Рисунок 6 — Изменение температуры калориметрической жидкости при растворении KBr в воде

- гидратации образовавшихся при растворении ионов; этот процесс сопровождается выделением энергии, так как между молекулами воды и ионами происходит взаимодействие;

- диффузии ионов растворённого вещества в растворе; этот процесс идёт с незначительной затратой энергии.

Общий тепловой эффект растворения будет равен сумме тепловых эффектов перечисленных процессов:

$$Q_{\text{растворения}} = Q_{\text{крист. решётки}} + Q_{\text{гидратации}} + Q_{\text{диффузии}}$$

Если энергия кристаллической решётки больше энергии гидратации, то процесс растворения будет эндотермическим процессом, поскольку энергия, затраченная на разрушение кристаллической структуры, не будет скомпенсирована энергией, выделяющейся при гидратации.

Если энергия кристаллической решётки меньше энергии гидратации, то процесс растворения будет экзотермическим процессом, поскольку энергия, затраченная на разрушение кристаллической структуры, будет полностью скомпенсирована энергией, выделяющейся при гидратации.

Поэтому соли, обладающие прочной кристаллической структурой и низкой энергией гидратации ионов, растворяются с поглощением теплоты. И, наоборот, соли с невысокой прочностью кристаллической структуры, образующие в растворе сильно гидратированные ионы, растворяются с выделением теплоты.

В случае растворения бромида калия температура раствора понижается.

Это можно объяснить тем, что энергия кристаллической решётки KBr составляет 678,2 кДж/моль, а сумма энергий гидратации ионов K^+ и Br^- — 669 кДж/моль. Таким образом, для разрушения кристаллической структуры KBr надо затратить больше энергии, чем её выделяется в процессе гидратации образовавшихся ионов.

Теплота растворения зависит от природы вещества. Например, растворение сульфата меди со-

провождается выделением теплоты (около 80 кДж/моль); при растворении в воде хлорида натрия теплота практически не выделяется, а при растворении нитрата аммония температура раствора резко снижается. Подобные нитрату аммония вещества используют в гипотермических (охлаждающих) пакетах.

Демонстрационный эксперимент 3. Измерение теплового эффекта реакции взаимодействия натрия с водой.

Цель: на примере взаимодействия натрия с водой наглядно продемонстрировать тепловые процессы, которыми сопровождаются химические реакции. Познакомить учащихся с измерением теплового эффекта химической реакции.

Реагенты: натрий (0,24 г), дистиллированная вода (200 г).

Результаты измерения изменения температуры воды при растворении в ней натрия представлены в таблице 4 и на рисунке 7.

С учётом постоянной калориметра:

$$Q_{\text{растворения}} = 0,8 \text{ кДж/град} \cdot \Delta T_{\text{к}}$$

$$Q_{\text{растворения}} = 0,8 \text{ кДж/град} \cdot (2 \text{ град}),$$

$$Q_{\text{растворения}} = 1,6 \text{ кДж.}$$

С учётом количества растворённого натрия (0,01 моль):

$$Q_{\text{уд.растворения}} = -160 \text{ кДж/моль.}$$

Таким образом, тепловой эффект химической реакции натрия с водой составляет порядка 160 кДж/моль.

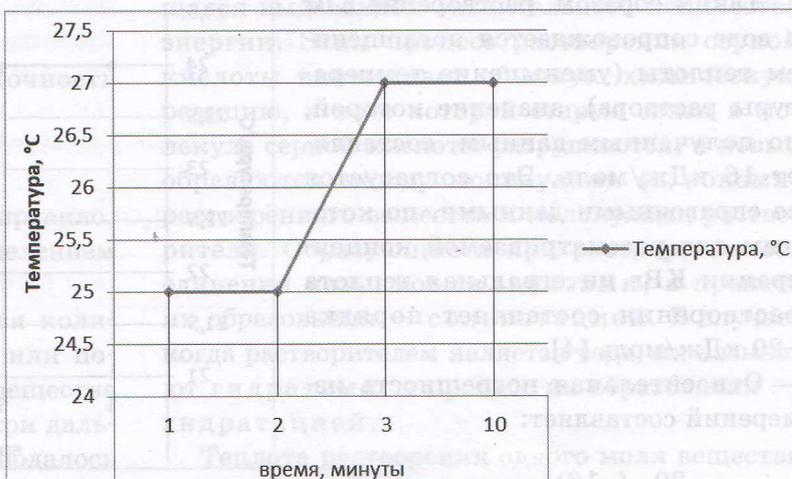


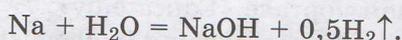
Рисунок 7 — Изменение температуры калориметрической жидкости при растворении в воде натрия

Таблица 4 — Результаты измерения теплового эффекта взаимодействия натрия с водой

m воды, г	$n(\text{Na})$, моль	$c_m(\text{NaOH})$, моль/кг	$n(\text{Na}) : n(\text{H}_2\text{O})$	$T_{\text{нач}}$, °С	$T_{\text{кон}}$, °С	$\Delta T_{\text{к}}$, град	Q , Дж	$Q_{\text{уд}}$, Дж/моль
200	0,01	0,05	1 : 1111	25	27	2	1,6	160

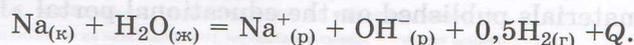
Обоснование опыта

Взаимодействие натрия с водой описывается уравнением:



При измерении теплового эффекта этого процесса надо учитывать, что в ходе его происходит не только образование новых веществ, но и происходит растворение NaOH (включая распад на ионы и их гидратацию) с положительным

тепловым эффектом, а также улетучивание в атмосферу водорода (с отрицательным тепловым эффектом). С учётом этих процессов термохимическое уравнение для этой реакции можно представить в следующем виде:



Термодинамический расчёт по этому уравнению с использованием энтальпий образования показывает:

Вещества	$\text{Na}_{(\text{к})}$	$\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$	$\text{Na}^+_{(\text{р})}$	$\text{OH}^-_{(\text{р})}$	$\text{H}_{2(\text{г})}$
$\Delta_f H^\circ$, кДж/моль	0	-285,49	-240,22	-229,77	0

$$\Delta_{\text{реакции}} H^\circ = -240,22 - 229,77 - (-285,49) = -184,5 \text{ кДж/моль.}$$

Напомним, что изменение энтальпии реакции и тепловой эффект реакции противоположны по знаку:

$$\Delta_{\text{реакции}} H^\circ = -Q_{\text{реакции}}.$$

Таким образом, тепловой эффект рассматриваемой реакции должен составлять 184,5 кДж/моль.

Относительная погрешность измерений в данном эксперименте составляет:

$$\delta = \frac{184,5 - 160}{184,5} \cdot 100\% = 13,3\%.$$

Список использованных источников

1. Берестнев, А. С. Возможности использования программно-аппаратного комплекса с комплектом датчиков для повышения эффективности процесса обучения химии в учреждениях общего среднего образования Республики Беларусь / А. С. Берестнев, Д. И. Мычко // Біялогія і хімія. — 2018. — № 9. — С. 28–40 [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <https://adu.by/ru/homepage/obrazovatelnyj-protses-2019-2020-uchebnyj-god/obshchee-srednee-obrazovanie/202-uchebnye-predmety-v-xi-klassy/1291-khimiya.html>. — Дата доступа : 22.05.2020.
2. Блохин, А. В. Экспериментальные методы физической химии. Основы термохимии : курс лекций в 2 ч. [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://elib.bsu.by/handle/123456789/9866>. — Дата доступа : 22.05.2020.
3. Краткий справочник физико-химических величин. — 9-е изд. / под ред. А. А. Равделя и А. М. Пономарёвой. — СПб. : Специальная Литература, 1998. — С. 217 [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://rushim.ru/books/spravochniki/mishenko.pdf>. — Дата доступа : 22.05.2020.
4. Горонковский, И. Т. Краткий справочник / И. Т. Горонковский, Ю. П. Назаренко, Е. Ф. Некряч; под ред. А. Т. Пилипенко. — К. : Наукова думка, 1987. — 828 с. [Электронный ресурс]. — Режим доступа : https://www.studmed.ru/goronovskiy-it-nazarenko-yup-nekryach-ef-kratkiy-spravochnik-по-хімії_3666с3613се.html. — Дата доступа : 22.05.2020.

Статья поступила в редакцию 24.12.2019.