# Лабораторная работа № 2. Определение тепловых эффектов окислительно-восстановительных реакций

**Опыт №1 Определение теплового эффекта взаимодействия перманганата калия с сульфитом натрия в кислой среде**

**Цель:** определить тепловой эффект взаимодействия перманганата калия с сульфитом натрия в кислой среде

**Задачи работы**

1. Определить постоянную калориметра

2. Определить теплоту взаимодействия перманганата калия с сульфитом натрия в кислой среде при заданном количестве реактивов

3. Рассчитать тепловой эффект взаимодействия перманганата калия с сульфитом натрия в кислой среде по следствию из закона Гесса и сравнить с экспериментальными данными

**Приборы и реактивы**

1. Учебно – лабораторный комплекс «Общая химия» в комплектации: центальный контроллер или ПК; модуль «Термостат» в комплекте со стаканчиком (100 мл), изотермической оболочкой, крышкой, термодатчиком и мешалкой

2. Лабораторная посуда (мерный цилиндр объёмом 100 мл, мерные колбы объёмом 250 мл и 25 мл, пипетка объёмом 5 мл)

3. Стандартный раствор серной кислоты

4. Сухая соль перманганата калия

5. Сухая соль сульфита натрия

6. Дистиллированная вода

**Обоснование работы**

Протекание любых физико-химических процессов сопровождается тепловыми эффектами: эндотермические процессы идут с поглощением тепла, а экзотермические – с выделением тепла. Большинство окислительно-восстановительных процессов являются экзотермическими (например: горение природного газа, угля и т. д., реакции в растворах с участием перманганатов, бихроматов, взаимодействия металлов с кислотами и т. д.). Именно на процессах окисления основаны часто используемые в промышленности методы получения тепловой и электрической энергии. Знание тепловых эффектов различных процессов чрезвычайно важно, так как дает информацию по управлению различными процессами, их эффективному использованию.

**Порядок выполнения работы**

***1.Определение постоянной калориметра***

В качестве калориметрической жидкости используется дистиллированная вода. Стаканчик в изотермической оболочке с 80 мл дистиллированной воды устанавливается в калориметр и закрывается крышкой с укреплённым в ней датчиком температуры. В отверстие крышки вставляется специальная пробирка, с предварительно насыпанной измельчённой солью КСI (2 г) с известной теплотой растворения.

Модуль «Термостат» соединяется с помощью специального соединительного шнура с центральным контроллером, а контроллер подключается к компьютеру с помощью СОМ–порта. Контроллер включается в сеть.

При включённом контроллере запускается программа управления УЛК «Общая химия». В появившемся окне инициализации («Добро пожаловать в УЛК») выбирается вариант работы с УЛК – «Работа с контроллером». При правильно подсоединённом модуле и контроллере появятся надписи: «Контроллер активен» и «Модуль: Термостат». Затем осуществляется вход в программу управления УЛК путём нажатия кнопки «Вход».

После успешного входа в программу, соответствие между измерительными каналами и датчиками устанавливается автоматически, необходимо лишь включить используемые в работе датчики. Для этого устанавливается галочка напротив датчика 1 (при этом в столбце «Текущие значения» появится текущее значение температуры).

Для перемешивания раствора во время титрования включается магнитная мешалка и устанавливается необходимая скорость перемешивания.

В ходе работы необходимо постоянно измерять температуру раствора, поэтому устанавливается автоматический режим записи данных. Для этого в группе элементов «Параметры измерения» включается пункт «Автоматический режим» (необходимо поставить галочку). После этого настраиваются параметры одиночного измерения: включается пункт «Усреднение» (необходимо установить галочку), «Интервал измерений» 10 с.

После нажатия кнопки «Измерение» начнётся запись данных в банк. Далее появляется окно состояния измерения – «Обмен данными с контроллером». Через пять минут после начала записи данных (предварительный период), в калориметр вводится соль с известной теплотой растворения, проводится непрерывное измерение температуры внутри калориметра при постоянном перемешивании. Через 5 минут после ввода соли эксперимент заканчивают нажатием кнопки «Стоп».

После проведения измерения текущий эксперимент дополняется результатом измерения.

По окончании проведения всех измерений, полученные значения температуры исследуемого раствора передаются на график и в таблицу. Для этого необходимо перейти в окно «Графики» и построить график. Добавление графика осуществляется после нажатия кнопки «Добавить график» (на панели инструментов). Далее в специальном окне определяется соответствие между координатами графика и данными, полученными на измерительных каналах или временем (значение варьируемого параметра). Выбирается для оси абсцисс (Х) «Время», а для оси ординат (у) – требуемый канал (в нашем случае – «1. Термодатчик»).

Для определения изменения температуры раствора в ходе эксперимента используется средство измерения «линия» и «линейка» на панели инструментов. Строятся две линии, представляющие собой аппроксимационные прямые температуры раствора до ввода соли и после ввода. А затем измеряется изменение температуры в ходе эксперимента (по оси ординат).

Графическим методом определяется изменение температуры при растворении соли и рассчитывается постоянная калориметра. Постоянная калориметра в данном случае равна отклонению величины теплоты растворения теоретической для данного количества соли от экспериментального.

m B F

**T**

A g

k p

D

n E C

t (**Время), с**

Рис.1 – График для определения действительного изменения температуры

***Пример определения постоянной калориметра***

Определим моляльную концентрацию раствора, образующегося при растворении 5 г КСI*.*

Молярная масса МКСI = 74,5 г/моль. 5 г соли КСI составляет 5/74,5 = 0,0671 моль. В 150 г воды растворилось 0,0671 моль, а в 1 кг растворится 0,447 моль. Следовательно, моляльность полученного раствора *m* = 0,447 моль/кг.

Согласно данным из справочника интегральные теплоты растворения соли *КСI* для моляльности раствора *m* = 0,4 моль/кг составляет 17,50 кДж/моль, а для раствора моляльностью *m* = 0,5 моль/кг составляет 17,43 кДж/моль. Методом линейной интерполяции определяем интегральную теплоту растворения для раствора с моляльностью *m* = 0,447 моль/кг. Изменение при увеличении моляльности на 0,1 моль/кг составит 17,43 – 17,50 = –0,07 кДж/моль. Тогда изменение на 0,447–0,4 = – 0,047 моль/кг равно (–0,070·0,047/0,1) = –0,0329 кДж/моль.

Отсюда, интегральная теплота растворения *КСI* при образовании раствора с моляльностью *m* = 0,447 моль/кг равна 17,50–0,0329=17,47 кДж/моль или17,47/74,5 = 234,46 Дж/г.

При растворении 5 г КСI поглотилось *Q* = 234,46·5 = 1172,3 Дж теплоты.

Определим постоянную калориметра с учётом, что теплоёмкость раствора приближённо равна теплоемкости воды Суд = 4,18 Дж/г К, по формуле:

***2 Определение теплоты взаимодействия перманганата калия с сульфитом натрия в кислой среде***

Взаимодействие перманганата калия с сульфитом натрия в кислой среде осуществляется по реакции, уравнение которой приведено ниже:

В ионном виде:

Для проведения представленной реакции готовят стандартный раствор серной кислоты с концентрацией 0,1 М. К полученному раствору добавляют расчётное количество сухой соли перманганата калия из расчёта получения 250 мл кислого раствора перманганата калия с концентрацией 0,05 М. Полученный раствор используется в качестве калориметрической жидкости.

Раствор сульфита натрия готовят перед работой из расчёта получения 25 мл раствора с концентрацией 0,4 М растворением в дистиллированной воде расчётного количества сухой соли.

В стаканчик наливают 80 мл кислого раствора перманганата калия и устанавливают в калориметр, вставив его предварительно в изотермическую оболочку, закрывают крышкой с укреплённым в ней датчиком температуры. В специальное устройство наливают пипеткой 5 мл раствора сульфита натрия и устанавливают его в крышке калориметра.

Модуль «Термостат» соединяется с помощью специального соединительного шнура с центральным контроллером, контроллер подключается к компьютеру с помощью СОМ–порта. Контроллер включается в сеть.

При включенном контроллере запускается программа управления УЛК «Общая химия». В появившемся окне инициализации («Добро пожаловать в УЛК») выбирается вариант работы с УЛК – «Работа с контроллером». При правильно подсоединённом модуле и контроллере появятся надписи: «Контроллер активен» и «Модуль: Термостат». Затем осуществляется вход в программу управления УЛК путём нажатия кнопки «Вход».

После успешного входа в программу, соответствие между измерительными каналами и датчиками устанавливается автоматически, необходимо лишь включить используемые в работе датчики. Для этого устанавливается галочка напротив датчика 1 (при этом в столбце «Текущие значения» появится текущее значение температуры). Для перемешивания раствора включается магнитная мешалка и устанавливается необходимая скорость перемешивания.

В ходе работы необходимо постоянно измерять температуру раствора, поэтому устанавливается автоматический режим записи данных. Для этого в группе элементов «Параметры измерения» включается пункт «Автоматический режим» (необходимо поставить галочку). После этого настраиваются параметры одиночного измерения: включается пункт «Усреднение» (необходимо установить галочку), «Интервал измерений» ‒ 10 с.

После нажатия кнопки «Измерение» начнётся запись данных в банк. Далее появляется окно состояния измерения – «Обмен данными с контроллером». Через пять минут после начала записи данных (предварительный период), вводится раствор сульфита натрия в калориметр, проводится непрерывное измерение температуры внутри калориметра при постоянном перемешивании. Через 5 минут после ввода сульфита натрия заканчивают эксперимент нажатием кнопки «Стоп».

После проведения измерения текущий эксперимент дополняется результатом измерения.

По окончании проведения всех измерений, полученные значения температуры исследуемого раствора передаются на график и в таблицу. Для этого необходимо перейти в окно «Графики» и построить график. Добавление графика осуществляется после нажатия кнопки «Добавить график» (на панели инструментов). Далее, в специальном окне определяется соответствие между координатами графика и данными, полученными на измерительных каналах или временем (значением варьируемого параметра). Выбирается для оси абсцисс (х) «Время», а для оси ординат (у) – требуемый канал (в нашем случае – «1. Термодатчик»).

Для определения изменения температуры раствора в ходе эксперимента используется средство измерения «линия» и «линейка» на панели инструментов. Строится две линии, представляющие собой аппроксимационные прямые температуры раствора до ввода сульфита натрия и после его ввода. А затем измеряется изменение температуры в ходе эксперимента (по оси ординат).

По полученным данным рассчитывают тепловой эффект химической реакции. Рассчитывают количество тепла, выделившееся при взаимодействии заданного количества реактивов. Рассчитывают тепловой эффект взаимодействия перманганата калия с сульфитом натрия в кислой среде по следствию из закона Гесса и сравнивают с экспериментальными данными.

***Примечание***

При проведении работы к большому объёму раствора перманганата калия прибавляют небольшой объём раствора сульфита натрия, поэтому объём раствора сульфита натрия значительно увеличивается и при расчётах необходимо учитывать теплоту разведения раствора сульфита натрия. Для этого в стаканчик наливают 80 мл 0,1 Мраствор серной кислоты, устанавливают в калориметр, вставив его предварительно в изотермическую оболочку, закрывают крышкой с укреплённым в ней датчиком температуры. В специальное устройство наливают пипеткой 5 мл раствора сульфита натрия и устанавливают его в крышке калориметра. В течение 5 минут при перемешивании фиксируют температуру «предварительного периода». При вводе раствора сульфита натрия в калориметр проводится непрерывное измерение температуры внутри калориметра при постоянном перемешивании.

По полученным данным рассчитывают тепловой эффект химической реакции. Рассчитывают количество тепла, выделившегося при разведении раствора сульфита натрия.

***Пример расчёта теплового эффекта взаимодействия перманганата калия с сульфитом натрия в кислой среде***

При проведении работы к большому объёму раствора перманганата калия прибавляют небольшой объём раствора сульфита натрия, поэтому объём раствора сульфита натрия значительно увеличивается и при расчётах необходимо учитывать теплоту разведения раствора сульфита натрия. Тогда

где *Q* – теплота химической реакции,

*Q1* – теплота химической реакции и разведения,

*Q2* – теплота разведения.

Изменение температуры , как для процесса взаимодействия перманганата калия с сульфитом натрия, так и для процесса разведения, определяют графически (. Теплоту химических реакций определяют по формуле:

где – масса и теплоёмкость кислого раствора перманганата калия,

– масса и теплоёмкость раствора сульфита натрия,

– масса и теплоёмкость раствора серной кислоты,

– разность температур при химической реакции,

– разность температур при разведении,

– постоянная калориметра.

Если принять, что теплоёмкости растворов перманганата калия, сульфита натрия и серной кислоты приблизительно равны теплоёмкости воды (4,18 Дж/г К), то формула расчёта теплоты химической реакции примет вид:

Используя следствие закона Гесса:

где‒тепловой эффект реакции при 250С*,* Дж/моль,

тепловой эффект реакции при температуре Т, Дж/моль,

*–* разность молярных теплоёмкостей продуктов реакции и реагентов (с учётом коэффициентовперед формулами веществ) при проведении реакции при постоянном давлении, Дж/(моль К).

Тепловой эффект реакции, согласно закону Гесса, равен сумме энтальпий образования её продуктов за вычетом суммы энтальпий образования реагентов с учётом стехиометрических коэффициентов. Рассчитывают тепловой эффект взаимодействия перманганата калия с сульфитом натрия в кислой среде и сравнивают с экспериментальными данными.

Пусть теплоёмкость воды равна С = 4,18 Дж/г·К, масса кислого раствора перманганата калия = 80 г, = 1,780С, масса раствора сульфита натрия = 5 г, = 0,040С, а постоянная калориметра К = 36,2 Дж/К. Тогда тепловой эффект рассчитывают по формуле:

= (804,18 +54,18 + 36,2)·(0,04–1,78) = –681,2 Дж.

В реакции участвовало 5 мл 0,4 Мраствора сульфита натрия, что составляет (5∙0,4)/1000 =0,002 моль.При взаимодействии0,002моль сульфита натрия с избытком перманганата калия выделилось681,2 Дж ( = ‒681,2 Дж),а при взаимодействии 5 моль сульфита натрия выделится(‒681,2∙5)/0,002 = ‒1703,05Кдж.

Используя следствие закона Гесса, рассчитывается тепловой эффект реакции в растворе, значение энтальпии образования берут из справочника:

Значение изменения энтальпии процесса взаимодействия сульфита натрия и перманганата калия в кислой среде, рассчитанное по справочным данным составляет= – 1587,36 кДж.

*=*

= ||·100 = 7,3%.

***Опыт №2 Определение теплового эффекта взаимодействия бихромата калия с сульфитом натрия в кислой среде***

**Цель:** определить тепловой эффект взаимодействия бихромата калия с сульфитом натрия в кислой среде

**Задачи работы**

1. Определить постоянную калориметра

2. Определить теплоту взаимодействия бихромата калия с сульфитом натрия в кислой среде при заданном количестве реактивов

3. Рассчитать тепловой эффект взаимодействия бихромата калия с сульфитом натрия в кислой среде по следствию из закона Гесса и сравнить с экспериментальными данными

**Приборы и реактивы**

1. Учебно-лабораторный комплекс «Общая химия» в комплектации: центральный контроллер или ПК; модуль «Термостат» в комплекте со стаканчиком (100 мл), изотермической оболочкой, крышкой, термодатчиком и мешалкой

2. Лабораторная посуда (мерный цилиндр объёмом 100 мл, мерные колбы объёмом 250 мл и 25 мл, пипетка объёмом 5 мл)

3. Стандартный раствор серной кислоты

4. Сухая соль бихромата калия

5. Сухая соль сульфита натрия

6. Дистиллированная вода

**Порядок выполнения работы**

***1.Определение постоянной калориметра.***

Определение постоянной калориметра проводят в соответствии с п. 1 опыта №1 данной лабораторной работы.

***2.Определение теплоты взаимодействия бихромата калия с сульфитом натрия в кислой среде***

Взаимодействие бихромата калия с сульфитом натрия в кислой среде осуществляется по реакции, уравнение которой приведено ниже:

В ионном виде:

Для проведения представленной реакции готовят стандартный раствор серной кислоты с концентрацией 0,1 М. К полученному раствору добавляют расчётное количество сухой соли бихромата калия из расчёта получения 250 мл кислого раствора бихромата калия с концентрацией 0,05 М. Полученный раствор используется в качестве калориметрической жидкости.

Раствор сульфита натрия готовят перед работой из расчёта получения 25 мл раствора с концентрацией 0,4 М растворением в дистиллированной воде расчётного количества сухой соли.

В стаканчик наливают 80 мл кислого раствора бихромата калия и устанавливают в калориметр, вставив его предварительно в изотермическую оболочку, закрывают крышкой с укреплённым в ней датчиком температуры. В специальное устройство наливают пипеткой 5 мл раствора сульфита натрия и устанавливают его в крышке калориметра.

Модуль «Термостат» соединяется с помощью специального соединительного шнура с центральным контроллером, контроллер подключается к компьютеру с помощью СОМ–порта. Контроллер включается в сеть.

При включённом контроллере запускается программа управления УЛК «Общая химия». В появившемся окне инициализации («Добро пожаловать в УЛК») выбирается вариант работы с УЛК – «Работа с контроллером». При правильно подсоединённом модуле и контроллере появятся надписи: «Контроллер активен» и «Модуль: Термостат». Затем осуществляется вход в программу управления УЛК путём нажатия кнопки «Вход».

После успешного входа в программу, соответствие между измерительными каналами и датчиками устанавливается автоматически, необходимо лишь включить используемые в работе датчики. Для этого устанавливается галочка напротив датчика 1 (при этом в столбце «Текущие значения» появится текущее значение температуры). Для перемешивания раствора включается магнитная мешалка и устанавливается необходимая скорость перемешивания.

В ходе работы необходимо постоянно измерять температуру раствора, поэтому устанавливается автоматический режим записи данных. Для этого в группе элементов «Параметры измерения» включается пункт «Автоматический режим» (необходимо поставить галочку). После этого настраиваются параметры одиночного измерения: включается пункт «Усреднение» (необходимо установить галочку), «Интервал измерений» ‒ 10 с.

После нажатия кнопки «Измерение» начнётся запись данных в банк. Далее появляется окно состояния измерения – «Обмен данными с контроллером». Через пять минут после начала записи данных (предварительный период), вводится раствор сульфита натрия в калориметр, проводится непрерывное измерение температуры внутри калориметра при постоянном перемешивании. Через 5 минут после ввода сульфита натрия заканчивают эксперимент нажатием кнопки «Стоп».

После проведения измерения текущий эксперимент дополняется результатом измерения.

По окончании проведения всех измерений полученные значения температуры исследуемого раствора передаются на график и в таблицу. Для этого необходимо перейти в окно «Графики» и построить график. Добавление графика осуществляется после нажатия кнопки «Добавить график» (на панели инструментов). Далее, в специальном окне определяется соответствие между координатами графика и данными, полученными на измерительных каналах или временем (значение варьируемого параметра). Выбирается для оси абсцисс (х) «Время», а для оси ординат (у) – требуемый канал (в нашем случае –«1. Термодатчик»).

Для определения изменения температуры раствора в ходе эксперимента используется средство измерения «линия» и «линейка» на панели инструментов. Строится две линии, представляющие собой аппроксимационные прямые до ввода сульфита натрия и после его ввода. А затем измеряется изменение температуры в ходе эксперимента (по оси ординат).

По полученным данным рассчитывают тепловой эффект химической реакции. Рассчитывают количество тепла, выделившегося при взаимодействии заданного количества реактивов. Рассчитывают тепловой эффект взаимодействия бихромата калия с сульфитом натрия в кислой среде по следствию из закона Гесса и сравнивают с экспериментальными данными.

***Примечание***

При проведении работы к большому объёму раствора бихромата калия прибавляют небольшой объём раствора сульфита натрия, поэтому объём раствора сульфита натрия значительно увеличивается и при расчётах необходимо учитывать теплоту разведения раствора сульфита натрия. Для этого в стаканчик 80 мл 0,1 М раствор серной кислоты, устанавливают в калориметр, вставив его предварительно в изотермическую оболочку, закрывают крышкой с укреплённым в ней датчиком температуры. В специальное устройство наливают пипеткой 5 мл раствора сульфита натрия и устанавливают его в крышке калориметра. В течение 5 минут при перемешивании фиксируют температуру «предварительного периода». При вводе раствора сульфита натрия в калориметр проводится непрерывное измерение температуры внутри калориметра при постоянном перемешивании.

По полученным данным рассчитывают тепловой эффект разбавления. Рассчитывают количество тепла, выделившегося при разведении сульфита натрия.

***Пример расчёта теплового эффекта взаимодействия бихромата калия с сульфитом натрия в кислой среде***

При проведении работы к большому объёму раствора бихромата калия прибавляют небольшой объём раствора сульфита натрия, поэтому объём раствора сульфита натрия значительно увеличивается и при расчётах необходимо учитывать теплоту разведения раствора сульфита натрия. Тогда

где – теплота химической реакции,

– теплота химической реакции и разведения,

– теплота разведения.

Изменение температуры , как для процесса взаимодействия бихромата калия с сульфитом натрия, так и для процесса разведения, определяют графически. Теплоту химической реакции определяют по формуле:

*,*

где – масса и теплоёмкость кислого раствора бихромата калия,

– масса и теплоёмкость раствора сульфита натрия,

– масса и теплоёмкость раствора серной кислоты,

– разность температур при химической реакции,

– – разность температур при разведении,

– постоянная калориметра.

Если принять, что теплоёмкости растворов бихромата калия, сульфита натрия и серной кислоты приблизительно равны теплоёмкости воды (4,18 Дж/г К), то формула расчёта теплоты химической реакции примет вид:

Тепловой эффект реакции, согласно закону Гесса, равен сумме энтальпий образования ее продуктов за вычетом суммы энтальпий образования реагентов с учётом стехиометрических коэффициентов. Рассчитывают тепловой эффект взаимодействия перманганата калия с сульфитом натрия в кислой среде и сравнивают с экспериментальными данными.

Пусть теплоёмкость воды равна С = 4,18 Дж/г К, масса кислого раствора перманганата калия = 80 г, = 1,720С, масса раствора сульфита натрия = 5 г, = 0,040С, а постоянная калориметра К = 36,2 Дж/К. Тогда тепловой эффект рассчитывают по формуле:

= (804,18 +54,18 + 36,2)·(0,04–1,72) = –657,7 Дж

В реакции участвовало 5 мл 0,4 М раствора сульфита натрия, что составляет (5∙0,4)/1000 = 0,002 моль*.* При взаимодействии0,002моль сульфита натрия с избытком бихромата калия *выделилось 657,7 Дж ( = ‒681,2 Дж),* а при взаимодействии 3 моль сульфита натрия выделится (657,73)/0,002 = 998,59Кдж.

Используя следствие закона Гесса, рассчитывается тепловой эффект реакции в растворе, значение энтальпии образования берут из справочника:

Значение изменения энтальпии процесса взаимодействия сульфита натрия и бихромата калия в кислой среде составляет *= – 937,32 кДж.*

*=*

||100 = 7,3%