

ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель программы  
аспирантуры  
профессор О.В. Черемисина

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО  
ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ  
ВВЕДЕНИЕ В ТЕОРИЮ РАСТВОРОВ**

<b>Область науки:</b>	1. Естественные науки
<b>Группа научных специальностей:</b>	1.4 Химические науки
<b>Научная специальность:</b>	1.4.4. Физическая химия
<b>Отрасли науки:</b>	Технические
<b>Форма освоения программы аспирантуры:</b>	очная
<b>Срок освоения программы аспирантуры:</b>	4 года
<b>Составитель:</b>	д.т.н., доц. Литвинова Т.Е.

Санкт-Петербург

## **ВВЕДЕНИЕ**

Изучение дисциплины **«Введение в теорию растворов»** предполагает формирование у аспирантов

- знаний в области современных тенденций и методов физико-химического описания и моделирования процессов, протекающих с участием растворов (истинных, коллоидных);
- современного научного мировоззрения, развитие творческого естественнонаучного мышления, овладение современными методами научных исследований в области химии растворов;
- представлений и практического опыта физико-химических расчетов, необходимых для предсказания направления протекания химических реакций;
- навыков практического применения расчетов и экспериментального исследования физико-химических параметров процессов в растворах различного агрегатного состояния и природы.

Самостоятельная работа направлена на углубление и закрепление знаний, полученных на лекциях и практических занятиях, а также выработку навыков самостоятельного приобретения новых, дополнительных знаний, подготовку к предстоящим учебным занятиям и промежуточному контролю.

Самостоятельная работа – обязательная и неотъемлемая часть учебной работы аспиранта, направленная на:

- систематизацию, закрепление, углубление и расширение полученных теоретических знаний и практических умений;
- формирование умений использовать различные информационные источники: нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей, творческой инициативы, ответственности и организованности;
- развитие исследовательских умений;
- приобретение навыков в преподавательской деятельности

В результате изучения дисциплины обучающийся должен демонстрировать способность и готовность

- в научно-исследовательской деятельности в области химии и смежных наук критически анализировать и оценивать современные технические и научные достижения, в том числе в междисциплинарных областях; соблюдать правила международного научного общения и сотрудничества, принципы академической этики и личной ответственности ученого;
- в преподавательской деятельности в области химии и смежных наук проводить основные виды учебных занятий в рамках своей специальности; соблюдать правила и нормы педагогической этики и личной ответственности преподавателя; планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития в педагогическом, общетехническом, общенаучном и социальном контекстах.

Самостоятельная работа по дисциплине **«Введение в теорию растворов»** включает подготовку к экспериментальным и теоретическим работам и изучение дополнительных материалов. В методических указаниях описываются действия, которые необходимо выполнить в рамках самостоятельной работы.

## 1. ТЕМАТИКА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тематика самостоятельной работы
1	Образование и классификация растворов	Физико-химическое описание и моделирование водных систем
2	Обобщенные теории электролитов	Развитие представлений о природе растворов электролитов
3	Термодинамические свойства растворов	Современные методы определения свойств растворов
4	Электрохимические свойства растворов	Современные методы определения коэффициентов активности

Изучать курс рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них по программе. При первом чтении следует стремиться к получению общего представления об излагаемых вопросах, а также отмечать трудные или неясные моменты. При повторном изучении темы необходимо освоить все теоретические положения и подходы к решению практических задач.

Для более эффективного запоминания и усвоения изучаемого материала, полезно иметь рабочую тетрадь (можно использовать лекционный конспект) и заносить в нее основные понятия, новые незнакомые термины и названия, математические зависимости и их выводы и т.п. Весьма целесообразно пытаться систематизировать учебный материал, проводить обобщение разнообразных фактов, сводить их в таблицы. Такая методика облегчает запоминание и уменьшает объем конспектируемого материала.

Изучая курс, полезно обращаться и к предметному указателю в конце книги и к глоссарию (словарю терминов). Пока тот или иной раздел не усвоен, переходить к изучению новых разделов не следует. Краткий конспект курса будет полезен при повторении материала в период подготовки к промежуточной аттестации.

## 2. ПОДГОТОВКА К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Основная цель практических занятий – связать теоретические знания с практической деятельностью. Практические занятия чередуют развитие навыков выполнения экспериментальных и теоретических исследований. При выполнении исследований аспирант подготавливает отчет.

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тематика практических занятий
1	Образование и классификация растворов	Расчеты ионной силы раствора
2	Обобщенные теории электролитов	Расчеты кислотности растворов электролитов
3	Термодинамические свойства растворов	Расчет термодинамических свойств растворов
4	Электрохимические свойства растворов	Обработка электрохимических измерений

Аспиранты должны приходиться на практическое занятие заранее подготовленными. При подготовке к экспериментальным исследованиям необходимо ознакомиться с методическими указаниями к их выполнению и уяснить:

- цель работы;
- содержание работы;
- правила техники безопасности;
- порядок выполнения работы;
- результаты, которые должны быть получены в процессе выполнения работы;
- требования к отчету по работе.

Перед выполнением экспериментальных исследований аспиранты должны получить к ней допуск. Для допуска требуется знание теоретических основ выполняемой работы, хода ее выполнения, порядка записи и обработки результатов измерений и вычисления погрешностей, наличие протокола ведения эксперимента, содержащего необходимые исходные данные и таблицы для записи экспериментальных данных.

После получения допуска аспиранты приступают к выполнению экспериментов. Полученные результаты эксперимента должны быть сразу занесены в протокол. Он должен быть выполнен по возможности аккуратно, в протокол необходимо занести используемое оборудование, реактивы, все экспериментальные данные, концентрации использованных растворов и др. В конце работы экспериментальные данные предъявляются преподавателю. Протокол является неотъемлемой частью отчета и должен быть подписан преподавателем с указанием даты выполнения работы. Исправления, подтирки, корректор в протоколе не допускаются. Новые измерения должны заноситься ниже прежних и опять подписываться преподавателем. Отчет без подписанного протокола на проверку не принимается, а работа выполняется вновь.

### **3. РЕКОМЕНДАЦИИ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА**

Отчет по практическому занятию вместе с протоколом сдается преподавателю не позднее начала следующего занятия. Отчет должен быть оформлен в соответствии с индивидуальным заданием согласно методическим указаниям к конкретной работе и должен содержать следующие части:

1. Название работы.
2. Краткое описание сущности работы (со ссылками на литературные источники)
2. Цель работы.
3. Перечисление оборудования, реагентов, иных источников
4. Ход эксперимента или краткое описание методики теоретических исследований.
5. Экспериментальные данные или исходные данные для моделирования.
6. Обработка экспериментальных данных или собственно моделирование процесса.
7. Вывод.

#### **Текст и его размещение на странице**

Отчёт выполняют на листах формата А4 (размером 297х210 мм). Допускается как односторонняя, так и вухсторонняя печать. Поля рекомендуется установить верхнее, нижнее – 2 см, правое – 1,5 см, левое – 2,5 или 3 см. Основной шрифт текста – Times New Roman, размер 12 или 14 пт, начертание обычное. Выравнивание текста – по ширине страницы, междустрочный интервал – полуторный. Абзацы в тексте начинают отступом, равным 1,25 см.

#### **Разделы, подразделы и пункты**

Текст документа делится на разделы и подразделы. Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всего документа, обозначенные арабскими цифрами. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделённых точкой. Разделы и подразделы должны иметь заголовки, которые чётко и кратко отражают содержание разделов и подразделов. Заголовки начинаются с прописной буквы без точки в конце и без подчёркиваний. Разделы и подразделы могут содержать отдельные пункты, которые нумеруют по той же схеме, что и подразделы. Пункты названий как правило не имеют.

### **Пример формирования раздела, подраздела и пунктов выполнения эксперимента**

#### **3 Выполнение работы**

##### **3.1 Приготовление рабочего раствора соли железа**

3.1.1 В маркированный химический стакан отобрать порцию стандартного раствора соли железа объемом около 10 мл.

3.1.2 Из химического стакана в мерную колбу объемом 200 мл мерной пипеткой вместимостью 5 мл отобрать 5 мл стандартного раствора соли железа.

3.1.3 Довести уровень жидкости в мерной колбе дистиллированной водой до метки.

3.1.4 Закрыть колбу пробкой и перемешать раствор, переворачивая мерную колбу не менее 40 раз.

#### **Формулы**

Формулой считают любую последовательность, состоящую не менее, чем из двух символов, которая не является словом в каком-либо языке. Для раписей формул рекомендовано применять встроенные в Microsoft Office редакторы формул. Размер символов в формулах должен соответствовать размеру основного шрифта. Непосредственно под формулой приводят пояснения символов и числовых коэффициентов. Обычно латинские буквы в формулах выделяют курсивом. Каждую формулу записывают на новой строке.

Пример.

Концентрацию катиона металла в растворе вычисляют по формуле:

$$C = \frac{C_T V_T}{V_a},$$

где  $C_T$  – концентрация трилона Б (0,05 моль/л);  $V_T$  – эквивалентный объем трилона Б, мл;  $V_a$  – объем пробы, взятый для определения концентрации катиона металла, мл,  $V_a = 5$  мл.

Формулы в тексте при необходимости нумеруют. Нумерация может быть сквозная.

#### **Таблицы**

Таблицы используют для записи первичных результатов эксперимента, при обработке результатов эксперимента, при систематизации сведений и т.п.

При необходимости таблицы нумеруют. Удобно использовать сквозную нумерацию. Формат шрифта таблицы обычно соотносится с основным текстом. При переносе таблиц на следующую страницу повторяют «головку» таблицы. Таблицы рекомендуется снабжать заголовками, отражающими назначение и содержание таблицы

#### **Пример оформления таблицы**

Таблица 1 – Основные сведения о проведении эксперимента

Масса навески угля g, г	
Наименование слабой кислоты	
Химическая формула слабой кислоты	
Ориентировочная концентрация слабой кислоты, моль/л	

Концентрация раствора щелочи  $C_{(\text{NaOH})}$ , экв./л

Объем аликвоты слабой кислоты  $V_a$ , мл

Таблица 2 – Результаты титрования проб

№ колбы	Время, мин.	$V_{\text{NaOH}}$ , мл	№ колбы	Время, мин.	$V_{\text{NaOH}}$ , мл
1	0	21,2	6	15	19,2
2	3	20,4	7	18	19
3	6	19,9	8	21	18,8
4	9	19,7	9	24	18,6
5	12	19,5	10	27	18,6
			11	30	18,6

### Рисунки

Количество иллюстраций должно быть достаточным для пояснения текста. Иллюстрации должны находиться после абзаца с первым упоминанием о рисунке. Рисунки нумеруют. Удобно использовать сквозную нумерацию рисунков. Каждый рисунок должен иметь название или подрисуночную подпись, которая кратко отражает содержание рисунка. При наличии нескольких зависимостей на рисунке принято использовать «легенду», располагаемую непосредственно на рисунке или рядом с ним. Если рисунок предполагает аппроксимацию графических зависимостей, то в некоторых случаях допустимо располагать уравнения аппроксимации непосредственно на рисунке.

### Пример оформления рисунка

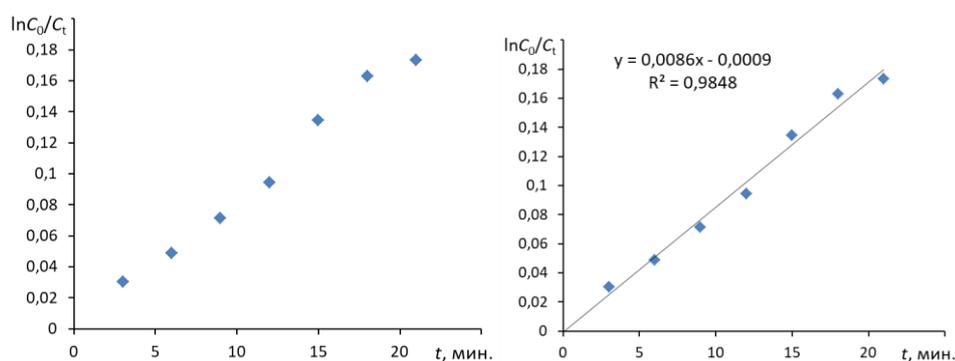


Рисунок 1 – Построение графической зависимости в предположении внешней диффузии и её обработка.

### Проверка отчёта

Преподаватель проверяет отчет и может вернуть его для исправления ошибок либо для переделки работы. Возврат отчета на исправление допускается не более двух раз и только в течение месяца со дня выполнения работы. По истечении этого срока, если отчет не принят, работа подлежит переделке с новым персональным заданием. Принятый отчет подлежит защите. На защите требуется знание теоретического и практического материала по защищаемой работе.

## **4. РЕКОМЕНДОВАННЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

### **4.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ДИССОЦИАЦИИ СЛАБОГО ЭЛЕКТРОЛИТА КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИМ СПОСОБОМ**

#### **ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Определить степень и константу диссоциации слабой кислоты путем измерения электропроводности раствора.

#### **СУЩНОСТЬ РАБОТЫ**

Электропроводность раствора электролита зависит от концентрации ионов в растворе и их подвижности. В растворах слабых электролитов концентрация ионов зависит от степени диссоциации. Получив зависимость электропроводности от концентрации электролита, вычисляют его степень диссоциации и константу диссоциации слабого электролита.

#### **ОБОРУДОВАНИЕ И РЕАКТИВЫ**

Кондуктометр; магнитная мешалка; химический стакан объемом 100 мл – 5 шт.; химический стакан объемом 50 мл – 1 шт.; химический стакан объемом 250 мл – 1 шт.; мерные колбы объемом 250 мл – 4 шт.; мерная пипетка объемом 50 мл – 1 шт.; мерная пипетка объемом 10 мл – 1 шт.; бюретка для титрования объемом 25 мл – 1 шт.; гидроксид натрия – раствор (концентрация указана на емкости с реактивом); слабая кислота –  $\text{CH}_3\text{COOH}$  или  $\text{HCOOH}$  – раствор (примерное значение концентрации указано на емкости с реактивом).

#### **ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ**

##### **I. Получение зависимости удельной электропроводности от содержания слабого электролита в растворе**

1. Приготовить серию из 4 последовательно разбавленных растворов слабого электролита:

1.1. Мерной пипеткой объемом 50 мл отобрать исходный раствор, поместить его в мерную колбу № 1 на 250 мл, довести до метки дистиллированной водой; закрыть колбу пробкой и перемешать раствор, переворачивая колбе не менее 40 раз;

1.2. Из колбы № 1 в колбу № 2 перенести при помощи мерной пипетки 50 мл раствора, довести объем в колбе № 2 дистиллированной водой до метки, закрыть колбу пробкой и перемешать раствор, переворачивая колбе не менее 40 раз;

1.3. Повторить с колбами № 3 и № 4.

2. Пробы приготовленных и исходного растворов отобрать в маркированные химические стаканы объемом 100 мл.

3. Измерить удельную электропроводность приготовленных растворов слабой кислоты путем погружения электрода кондуктометра в стакан с раствором. Начинать измерения следует с самого разбавленного раствора. При погружении электрода в раствор необходимо следить за тем, чтобы щель электрода была полностью закрыта раствором. При переходе от одного раствора к другому электрод следует насухо протереть кусочком фильтровальной бумаги.

4. Результаты измерений занести в таблицу «Зависимость удельной электропроводности от концентрации слабого электролита».

##### **II. Анализ концентрации раствора слабой кислоты методом кондуктометрического титрования.**

1. Получить от преподавателя раствор слабой кислоты.

2. Отобрать аликвоту 10 мл в химический стакан объемом 250 мл.

3. В бюретку залить раствор гидроксида натрия и «занулить» бюретку.
4. Поставить пробу на магнитную мешалку и поместить в раствор якорь магнитной мешалки.
5. Погрузить в стакан с пробой электрод кондуктометра.
6. Долить в стакан для титрования дистиллированную воду до закрытия щели электрода раствором.
7. Включить магнитную мешалку.
8. Зафиксировать показания кондуктометра.
9. Приливать гидроксид натрия из бюретки порциями по 1 мл, фиксируя после каждой порции щелочи значение электропроводности раствора.
10. Титрование продолжать до получения изменения хода зависимости удельной электропроводности от объема щелочи.
11. Данные занести в таблицу «Данные для построения кривой кондуктометрического титрования».

#### ПРОТОКОЛ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Наименование слабого электролита	
Химическая формула слабого электролита	
Ориентировочное значение концентрации слабого электролита $C_0$ (указано на емкости с этим электролитом), моль/л	
Концентрация титранта (гидроксид натрия) $C_{\text{NaOH}}$ , экв./л	
Объем пробы слабого электролита, взятый для титрования $V_a$ , мл	

#### Зависимость удельной электропроводности от концентрации слабого электролита

№ колбы	Концентрация, моль/л (по ориентировочному значению)	Удельная электропроводность $\chi$ , _____*
1	$C_0 = \underline{\hspace{2cm}}$	
2	$C_1 = C_0/2 = \underline{\hspace{2cm}}$	
3	$C_2 = C_0/4 = \underline{\hspace{2cm}}$	
4	$C_3 = C_0/8 = \underline{\hspace{2cm}}$	
5	$C_4 = C_0/16 = \underline{\hspace{2cm}}$	

#### Данные для построения кривой кондуктометрического титрования

№ п/п	$V_{\text{NaOH}}$ , мл	Удельная электропроводность $\chi$ , _____*
1	0	
2	1	
3	2	
4	3	
5	4	
6	5	
7	6	
8	7	
9	8	

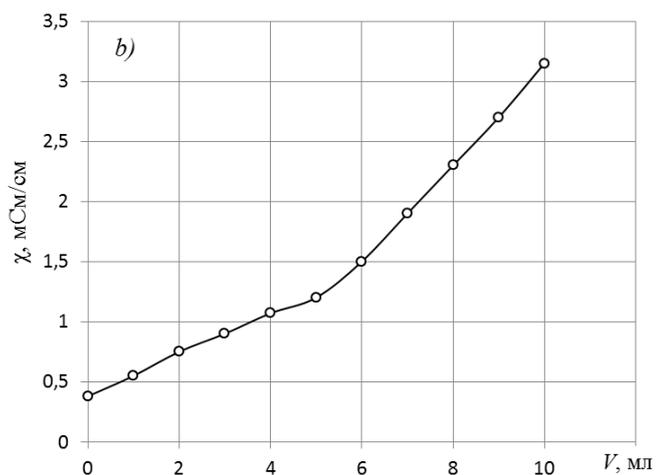
№ п/п	$V_{\text{NaOH}}$ , мл	Удельная электропроводность $\chi$ , _____*
10	9	
11	10	
12	11	
13	12	
14	13	
15	14	
16	15	
17	16	
18	17	...
19	18	
20	19	
21	20	

\*!!!! Единицы измерения – см. на табло прибора!!!!

### ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

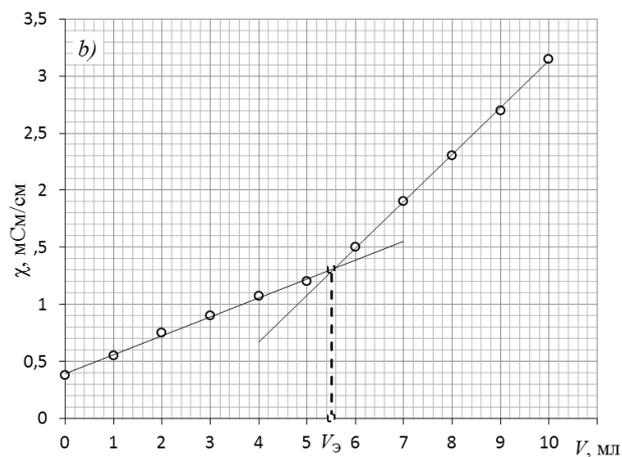
#### I. Определение точного значения концентрации слабого электролита

1. По данным таблицы «Данные для построения кривой кондуктометрического титрования» построить кривую кондуктометрического титрования



Экспериментальная кривая кондуктометрического титрования.

2. Обработать графически кривую титрования



Обработка экспериментальной кривой титрования и определение точки эквивалентности.

2.1. Массив экспериментальных данных разделить на 2 части относительно точки перегиба.

2.2. Каждую часть аппроксимировать линейной зависимостью.

2.3. При построении линий тренда начального и конечного периодов на вкладке «формат линии тренда» отметить прогноз «вперёд» для начального периода и «назад» для конечного периода.

2.4. От места пересечения прямых опустить перпендикуляр с оси абсцисс и определить значение эквивалентного объема щелочи.

2.5. Координату точки пересечения можно найти расчётным путём, решив систему из двух уравнений линий тренда.

3. Точное значение концентрации слабого электролита вычислить по формуле:

$$C_{\text{эл-та}} = \frac{C_{\text{NaOH}} V_{\text{Э}}}{V_a},$$

где  $V_{\text{Э}}$  – эквивалентный объем щелочи, определенный по кривой титрования, мл;  $C_{\text{NaOH}}$  – концентрация раствора щелочи, экв./л;  $V_a$  – объем аликвоты слабого электролита, мл.

## II. Определение константы и степени диссоциации слабого электролита

*Далее в расчетах используется точное значение концентрации слабого электролита, определенное в п. I.*

1. Вычислить эквивалентную электропроводность каждого раствора по формуле:

$$\lambda = \frac{\chi \cdot 10^{-3}}{C_N}.$$

2. Заполнить таблицу, используя данные эксперимента «Зависимость удельной электропроводности от концентрации слабого электролита»

Электролит	$C$ , экв/л	$\chi$ , См·м <sup>-1</sup>	$\lambda$ , См·м <sup>2</sup> ·экв <sup>-1</sup>	$1/\lambda$	$\lambda C$

3. По данным таблицы построить графики зависимостей  $\chi = f(C)$  и  $1/\lambda = f(\lambda C)$ .

4. По графику  $1/\lambda = f(\lambda C)$  найти  $1/\lambda^\infty$  посредством экстраполяции зависимости на ось ординат  $1/\lambda$  и вычислить  $\lambda^\infty$ . Полученное значение  $\lambda^\infty$  сопоставить с данными [1]. При наличии сильного расхождения в дальнейших расчетах рекомендуется использовать справочные данные.

5. Рассчитать значение степени диссоциации по уравнению:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\lambda^\infty}.$$

6. Вычислить значение константы диссоциации по уравнению:

$$K_d = \frac{\alpha^2 C}{1 - \alpha}.$$

7. Результаты вычислений занести в таблицу:

Электролит	$C$ , моль/л	$\alpha$	$K_d$	$\Delta K_d = K_d \text{ среднее} - K_d$
		$K_d \text{ среднее} =$		
		...		

8. Среднее квадратичное отклонение  $\sigma$  рассчитывают по уравнению:

$$\sigma = t \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta K_d)^2}{n(n-1)}},$$

где  $t$  – коэффициент Стьюдента. Для доверительной вероятности 0,95  $t = 3,2$ .

9. Окончательный результат представляют в виде:

$$K_d = K_d \text{ среднее} \pm \sigma.$$

## 4.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАНДАРТНЫХ ЭЛЕКТРОДНЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ И КОЭФФИЦИЕНТА АКТИВНОСТИ

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определить величину среднего ионного коэффициента активности.

### СУЩНОСТЬ РАБОТЫ

Величину среднего ионного коэффициента активности вычисляют по уравнению Нернста по данным ЭДС, и данных о значениях  $\varphi$  и  $\varphi^\circ$  электрода сравнения. Полученный результат сопоставляют с расчетными данными.

### ОБОРУДОВАНИЕ И РЕАКТИВЫ

Иономер; электроды: медный и цинковый; хлорсеребряный электрод сравнения; химический стакан объемом 50 или 100 мл – 8 шт., колба коническая вместимостью 100 или 250 мл – 2 шт., мерная колба объемом 250 мл – 1 шт., мерные колбы объемом 100 мл – 5 шт., пипетка Мора объемом 50 мл; пипетка мерная объемом 5 мл – 1 шт., пипетка мерная объемом 2 мл – 1 шт., бюретка градуированная с шариком объемом 25 мл – 1 шт., цилиндр мерный вместимостью 100 мл – 1 шт., цилиндр мерный вместимостью 10 мл – 1 шт.; сульфат меди – раствор концентрацией 1 моль/кг, сульфат цинка – раствор концентрацией 1 моль/кг, хлорид калия – насыщенный раствор, трилон Б – раствор концентрацией 0,05 моль/л, гидроксид аммония – раствор с массовой долей аммака 12,5 %, хлорид аммония – раствор концентрацией 1 моль/л, мурексид – сухая смесь с хлоридом натрия в соотношении 1:100, эриохром черный Т – сухая смесь с хлоридом натрия в соотношении 1:100; наждачная бумага.

### ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

#### I. Приготовление раствора

1. Вычислить объем раствора соли металла концентрацией 1 моль/кг, необходимый для приготовления 250 мл раствора концентрацией 0,25 моль/кг (правильность расчёта проверить у преподавателя). Результат расчёта округлить до целых и занести в протокол лабораторной работы.

2. При помощи мерного цилиндра вместимостью 100 мл отобрать рассчитанный объём раствора сульфата металла концентрацией 1 моль/кг и перенести его в мерную колбу вместимостью 250 мл.

3. Объём раствора в мерной колбе довести до метки дистиллированной водой, колбу закрыть пробкой, раствор тщательно перемешать.

## **II. Проведение анализа приготовленного раствора**

4. Рассчитать объём пробы (аликвоты) раствора сульфата металла с концентрацией 0,25 моль/л, который необходимо отобрать для титрования раствором трилона Б концентрацией 0,05 моль/л, чтобы объём титранта не превышал 10 мл. Результат расчёта округлить до целых и занести в протокол лабораторной работы.

5. На основании расчёта объёма аликвоты выбрать мерную пипетку, которой следует отбирать пробу сульфата металла для титрования.

6. В две конические колбы вместимостью 100 или 250 мл при помощи мерной пипетки поместить рассчитанную аликвоту раствора соли металла концентрацией 0,25 моль/кг.

7. При помощи промывалки довести объём раствора в колбах дистиллированной водой до толщины слоя жидкости от 7 до 10 мм.

8. При анализе концентрации раствора сульфата *меди* к содержимому конических колб добавляют по каплям раствор *гидроксида аммония* (1:1) до образования прозрачного раствора аммиаката меди синего цвета, затем добавляют небольшое количество индикатора *мурексид*.

8А. При анализе концентрации раствора сульфата *цинка* к содержимому конических колб при помощи мерного цилиндра вместимостью 10 мл приливают от 5 до 7 мл раствора *хлорида аммония* концентрацией 1 моль/л, затем добавляют небольшое количество индикатора *эриохром* черный Т.

9. Бюретку для титрования заполняют раствором трилона Б и зануляют.

10. Растворы в мерных колбах титруют раствором трилона Б до перехода окраски индикатора

при анализе сульфата меди от жёлтой (хаки) к фиолетовой,

при анализе сульфата цинка от красной к синей.

11. Результаты титрования заносят в протокол лабораторной работы.

## **III. Проведение потенциметрических измерений**

12. В маркированный химический стакан объёмом 100 или 50 мл отобрать раствор сульфата меди, или сульфата цинка (по заданию преподавателя) концентрацией 0,25 моль/кг.

13. Из этого раствора соли металла приготовить 5 последовательно разбавленных в два раза растворов.

В мерную колбу № 1 объёмом 100 мл при помощи мерной пипетки отобрать из маркированного стакана 50 мл раствора, довести объём жидкости в колбе до метки дистиллированной водой, закрыть колбу пробкой и перемешать, переворачивая колбу не менее 40 раз.

Из мерной колбы № 1 в мерную колбу объёмом 100 мл № 2 мерной пипеткой отобрать 50 мл приготовленного раствора, довести объём жидкости в колбе до метки дистиллированной водой, закрыть колбу пробкой и перемешать, переворачивая колбу не менее 40 раз.

Из мерной колбы № 2 в мерную колбу объёмом 100 мл № 3 отобрать мерной пипеткой 50 мл приготовленного раствора, довести объём жидкости в колбе до метки дистиллированной водой, закрыть колбу пробкой и перемешать, переворачивая колбу не менее 40 раз.

Из мерной колбы № 3 в мерную колбу объемом 100 мл № 4 отобрать мерной пипеткой 50 мл приготовленного раствора, довести объем жидкости в колбе до метки дистиллированной водой, закрыть колбу пробкой и перемешать, переворачивая колбу не менее 40 раз.

Из мерной колбы № 4 в мерную колбу объемом 100 мл № 5 отобрать мерной пипеткой 50 мл приготовленного раствора, довести объем жидкости в колбе до метки дистиллированной водой, закрыть колбу пробкой и перемешать, переворачивая колбу не менее 40 раз.

14. Кусочком наждачной бумаги тщательно зачистить металлический электрод: медный или цинковый.

15. К клемме «изм.» иономера присоединить металлический электрод, к клемме «вспом.» - хлорсеребряный электрод.

16. Отобрать приготовленные растворы в маркированные химические стаканы объемом 50 мл.

17. Погрузить зачищенный металлический электрод и электрод сравнения (хлорсеребряный электрод) в раствор соли металла **самый разбавленный!**

18. Подключить иономер к электрической сети и нажать кнопку «вкл.»

19. На табло прибора прочитать значение ЭДС, которое занести в таблицу экспериментальных данных.

20. Измерить значение ЭДС остальных растворов.

#### ПРОТОКОЛ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Наименование соли металла	
Химическая формула	
Концентрация исходного раствора	
Объем соли металла концентрацией 0,25 моль/л, мл	
Объем 1 М раствора, взятый на приготовление 0,25 М раствора	
Концентрация титранта (трилона Б) $C_T$ , моль/л	
Объем аликвоты соли металла $V_a$ , мл	
Объем титранта (трилона Б), мл:	
	$V_{T1}$ , мл
	$V_{T1}$ , мл
	Среднее значение $V_T$ , мл
Температура проведения эксперимента, °С	

## Результаты измерения ЭДС

№	Примерная концентрация раствора, моль/кг	$E$ , мВ
-	0,25	
1	0,25/2	
2	0,25/4	
3	.....	
4		
5		

### ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

1. Записывают схему гальванического элемента (вместо Me и MeAn вписать свои данные):



2. Вычисляют потенциал хлорсеребряного электрода при температуре опыта по формуле

$$\varphi_{\text{Cl}^-, \text{AgCl}/\text{Ag}} = 0,2145 - 7,4 \cdot 10^{-4} t (^{\circ}\text{C}).$$

3. Вычисляют точную концентрацию раствора соли металла по формуле

$$C_{\text{MeSO}_4} = \frac{C_T \cdot V_T}{V_a}, \text{ моль/л}$$

и заносят его в таблицу обработки данных.

4. Вычисляют концентрации растворов, полученных путём последовательного разведения, которые также заносят в таблицу обработки данных.

5. В таблицу обработки данных из протокола лабораторной работы записывают значения измеренной э.д.с.

6. Для всех концентраций соли металла рассчитывают значение  $\varphi_{\text{Me}^{z+}/\text{Me}}$  по формулам:  
для медного электрода

$$\varphi_{\text{Me}^{z+}/\text{Me}} = \varphi_{\text{Cl}^-, \text{AgCl}/\text{Ag}} + E;$$

для цинкового электрода

$$\varphi_{\text{Me}^{z+}/\text{Me}} = \varphi_{\text{Cl}^-, \text{AgCl}/\text{Ag}} - E.$$

Результаты расчётов заносят в таблицу обработки данных.

7. Логарифм активности катионов металла вычисляют на основании уравнения Нернста по формуле

$$\ln a_{\text{Me}^{z+}} = \frac{zF}{RT} \cdot (\varphi_{\text{Me}^{z+}/\text{Me}} - \varphi_{\text{Me}^{z+}/\text{Me}}^{\circ}),$$

где  $z$  – число электронов, принимающих участие в равновесии  $\text{Me}^{z+} + z\bar{e} = \text{Me}^0$ ,  $F$  – число Фарадея,  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $T$  – температура эксперимента, К,  $\varphi_{\text{Me}^{z+}/\text{Me}}$  – потенциал

металлического электрода, полученный по результатам эксперимента,  $\varphi_{\text{Me}^{z+}/\text{Me}}^0$  – стандартный потенциал металлического электрода (справочная величина).

8. Значение среднего ионного коэффициента активности, получаемое из данных эксперимента  $\gamma_{\pm}$  (эксп) вычисляют по формуле

$$\gamma_{\pm}(\text{эксп.}) = \frac{a_{\text{Me}^{z+}}}{C_{\text{MeSO}_4}}$$

9. Для каждой концентрации раствора сульфата металла вычисляют значение ионной силы раствора по формуле

$$I = \frac{1}{2} \sum (C_i \cdot z_i^2) = \frac{1}{2} \left( [\text{Me}^{2+}] \cdot z_{\text{Me}^{z+}}^2 + [\text{SO}_4^{2-}] \cdot z_{\text{SO}_4^{2-}}^2 \right) = 4 \cdot C_{\text{MeSO}_4},$$

которое заносит в таблицу обработки экспериментальных данных.

10. Теоретическое значение  $\gamma_{\pm}$  (расч) среднего ионного коэффициента активности рассчитывают в зависимости от значения ионной силы раствора по уравнениям:

$$\lg \gamma_{\pm} = -0,51 |z_+ z_-| \left( \frac{\sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}} \right) \text{ при } I < 0,05 \text{ моль/кг}$$

$$\lg \gamma_{\pm} = -0,51 |z_+ z_-| \left( \frac{\sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}} - 0,2I \right) \text{ при } I > 0,05 \text{ моль/кг,}$$

где  $z_+$  и  $z_-$  – заряд катиона и аниона соответственно

Таблица обработки данных

№	$C_{\text{MeSO}_4}$ , моль/л	$E$ , В	$\varphi_{\text{Me}^{z+}/\text{Me}}$ , В	$\ln a_{\text{Me}^{z+}}$	$a_{\text{Me}^{z+}}$	$\gamma_{\pm}$ (эксп)	$I$ , моль/л	$\gamma_{\pm}$ (расч.)
1	см. п.2							
2	$C/2$							
3	$C/4$							
4	.....							
5								
6								

## 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Классификация растворов: по концентрации, по агрегатному состоянию, по размеру частиц.
2. Твердые растворы: ограниченный и неограниченный изоморфизм, правило Юм-Розери.
3. Идеальные и неидеальные растворы. Признаки идеального раствора.
4. Химическая связь. Свойства химической связи, связь с реакционной способностью молекул.
5. Поляризация, поляризуемость и поляризующая способность молекул/ионов.
6. Диэлектрическая проницаемость – характеристика растворителя и дисперсной среды. Уравнение Клаузиуса-Мозотти. Уравнение Дебая.
7. Классификация межчастичных/межмолекулярных взаимодействий.
8. Квантовая природа межчастичного взаимодействия. Распределение Больцмана.

9. Потенциал Леннарда-Джонса.
  10. Энергетическая кривая взаимодействия двух частиц для межатомного и межмолекулярного взаимодействия.
  11. Потенциал взаимодействия.
  12. Химический потенциал отдельной молекулы/иона растворенного вещества.
  13. Энергия Борна, связь с химическим потенциалом.
  14. Диполь: химический потенциал, магнитные свойства.
  15. Межмолекулярные взаимодействия в газах.
  16. Уравнение состояния реального газа (Ван-дер-Ваальса).
  17. Связь внутренней энергии идеального газа, температуры и давления: понятия «внутреннее давление», «коэффициент сжатия».
  18. Кулоновское взаимодействие в растворах.
  19. Силы Лондоновского взаимодействия.
  20. Взаимодействие Ван-дер-Ваальса.
  21. Влияние межмолекулярного взаимодействия и физических свойств раствора.
  22. Влияние межмолекулярного взаимодействия на термодинамические свойства растворов.
  23. Сольватация и ассоциация в растворах – результат межчастичного взаимодействия.
  24. Ионные пары: образование, влияние на реакционную способность молекул.
- Химико-технологические процессы, протекающие за счет образования ионных пар.
25. Структура сольватированного/гидратированного иона.
  26. Образование растворов электролитов.
  27. Теория гидратации Борна.
  28. Кинетические показатели сольватации/гидратации.
  29. Обобщенные теории кислот и оснований Бренстеда, Льюиса, Пирсона.
  30. Кислотно-основные свойства неводных растворов и расплавов.
  31. Модель расчета коэффициента активности по Дебаю-Хюккелю
  32. Модель расчета свойств раствора по Питцеру.
  33. Ионный и средний ионный коэффициент активности.
  34. Влияние состава раствора и температуры на величину коэффициента активности.
  35. Термодинамическая, концентрационная и эффективная константы равновесия.
  36. Способы определения коэффициента активности по термодинамическим свойствам растворов.
  37. Методы определения коэффициента активности по результатам измерения электропроводности и ЭДС.
  38. Теория электропроводности Дебая-Хюккеля-Онзагера.
  39. Роль межмолекулярного взаимодействия при образовании коллоидных растворов.
  40. Влияние межмолекулярного взаимодействия на процессы сорбции и экстракции.

## **6. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ В СЕТИ ИНТЕРНЕТ**

### **6.1. ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Основы физической химии. Учебник в 2-х частях. 5-е изд., переработанное и дополненное / В.В. Еремин, С.И. Каргов, И.А. Успенская, Н.Е. Кузьменко, В.В. Лунин. М. : Лаборатория знаний, 2019. – 348 с. : <http://www.chem.msu.ru/rus/books/2019/eremin-phys-chem-2019/welcome.html>

2. Физическая химия. Учебное пособие / В. И. Грызунов, И. Р. Кузеев, Е. В. Пояркова [и др.]. – 3-е издание, стереотипное. Москва: ФЛИНТА, 2019. – 251 с. : <https://e.lanbook.com/book/122598>

3. Свиридов А.В., Свиридов В.В. Физическая химия: учебное пособие. СПб.: Лань. – 2016. – 600 с. : <https://e.lanbook.com/book/87726>

## **6.2. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Краснов К.С. Физическая химия. Том 1. Строение вещества, термодинамика Учебник для ВУЗов. /К.С. Краснов, Н.К. Воробьев, И.Н. Годнее и др. Под ред. К.С. Краснова М.: «Высшая школа». 2001. 512 с. [http://www.studmed.ru/krasnov-ks-fizicheskaya-himiya-tom-1-stroenie-veschestva-termodinamika\\_a1933b180b2.html](http://www.studmed.ru/krasnov-ks-fizicheskaya-himiya-tom-1-stroenie-veschestva-termodinamika_a1933b180b2.html)

2. Краснов К.С. Физическая химия. Том 2. Электрохимия. Химическая кинетика и катализ. Учебник для ВУЗов. /К.С. Краснов, Н.К. Воробьев, И.Н. Годнее и др. Под ред. К.С. Краснова М.: «Высшая школа». 2001. 319 с. [http://www.studmed.ru/krasnov-ks-fizicheskaya-himiya-tom-2-elektrokhimiya-himicheskaya-kinetika-i-kataliz\\_2c45f4fdd06.html](http://www.studmed.ru/krasnov-ks-fizicheskaya-himiya-tom-2-elektrokhimiya-himicheskaya-kinetika-i-kataliz_2c45f4fdd06.html)

3. Стромберг А.Г., Семченко Д.П. Физическая химия. Учебник. 4 издание, исправленное. М.: «Высшая школа». 2001. 527 с. [http://www.studmed.ru/stromberg-ag-semchenko-dp-fizicheskaya-himiya\\_0216af11e9.html](http://www.studmed.ru/stromberg-ag-semchenko-dp-fizicheskaya-himiya_0216af11e9.html)

4. Древинг В.П., Калашников Я.А. Правило фаз с изложением основ термодинамики. Издание 2, переработанное и дополненное. М., Изд-во Московского ун-та. 1964. 456 с.) <https://www.twirpx.com/file/1287874/>

5. Atkins P., Paula J. Physical Chemistry. Text book. Eighth edition. New York. W.H. Freeman and Company. 2006. 1085 p. [http://exordio.qfb.umich.mx/archivos%20pdf%20de%20trabajo%20umnh/Leer%20escribir%20PDF%202014/CH-Physical%20Chemistry\(8th%20ed\)\[%E8%AF%8C%E8%AF%8C\]Atkins.pdf](http://exordio.qfb.umich.mx/archivos%20pdf%20de%20trabajo%20umnh/Leer%20escribir%20PDF%202014/CH-Physical%20Chemistry(8th%20ed)[%E8%AF%8C%E8%AF%8C]Atkins.pdf)

6. Mortimer R.G. Physical Chemistry. Text book. Third edition. Elsevier. Academic Press. 2008. 1405 p. [http://ebook3000.samaragbi.ru/Physical-Chemistry--Third-Edition\\_97769.html](http://ebook3000.samaragbi.ru/Physical-Chemistry--Third-Edition_97769.html)

7. Cooksy A. Physical chemistry. Thermodynamics, statistical mechanics and kinetics. Text book. Pearson Education. 2014. 567 p. [https://astro.ins.urfu.ru/sites/default/files/upload\\_files/temp/1/termstat.pdf](https://astro.ins.urfu.ru/sites/default/files/upload_files/temp/1/termstat.pdf)

8. Pelton A.D. Thermodynamics and Phase Diagrams. Centre de Recherche en Calcul Thermodynamique (CRCT). École Polytechnique de Montréal. 2011. 170 p. <http://www.crct.polymtl.ca/courses/42-Physical%20Metallurgy%20chapter.pdf>

9. Malijevský A. Physical chemistry in brief. Prague. Institute of Chemical Technology. 2005. 466 p. <http://old.vscht.cz/fch/en/tools/breviary-online.pdf>

## **6.3. ЭЛЕКТРОННО-БИБЛИОТЕЧНЫЕ СИСТЕМЫ**

1. Электронно-библиотечная система «Лань»; <https://e.lanbook.com/books>

2. Электронно-библиотечная система «Znanium.com»; <http://znanium.com>

3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн»; <http://biblioclub.ru>

4. Электронно-библиотечная система «Библиокомплектатор»; <http://www.bibliocomplectator.ru>

5. Электронно-библиотечная система «ЭБС ЮРАЙТ» [www.biblio-online.ru](http://www.biblio-online.ru).

## **6.4. ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНЫЕ СИСТЕМЫ**

1. Электронный периодический справочник «Система ГАРАНТ»; [www.garant.ru](http://www.garant.ru)

2. Справочно-поисковая система Консультант Плюс; [www.consultant.ru/](http://www.consultant.ru/)

#### **6.5. ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ БАЗЫ ДАННЫХ**

1. Электронная база данных. Термические константы веществ.  
<http://www.chem.msu.su/cgi-bin/tkv.pl>

2. Научная электронная библиотека ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>

3. Научная электронная библиотека «eLIBRARY»: <https://elibrary.ru/>

4. -Электронная база данных Scopus <https://scopus.com>

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	2
1. Тематика самостоятельной работы .....	3
2. Подготовка к практическим занятиям.....	3
3. Рекомендации к оформлению отчета .....	4
4. Рекомендованный лабораторный практикум .....	7
5. Контрольные вопросы для самопроверки .....	15
6. Рекомендуемая литература и источники в сети Интернет .....	16