

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 17.11.2025 12:40:04  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Утверждаю:

Руководитель ООП

Никольский В.М.

27 июня 2023 г.



Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

Расчет констант равновесий

Направление подготовки

04.04.01 Химия

Направленность (профиль)

Аналитическая химия

Для студентов 2 курса очной формы обучения

Составитель: к.х.н., Веселов И.Н. \_\_\_\_\_

Тверь, 2023

## I. Аннотация

### 1. Цель и задачи дисциплины:

Целью освоения дисциплины является: освоение методики расчета констант равновесий химических систем исходя из компьютерной обработки экспериментальных данных.

Задачами освоения дисциплины являются:

- изучение теоретических основ решения «обратной» задачи применительно к химическим равновесиям;
- освоение использования метода для моделирования систем с различными типами взаимодействий;
- рассмотрение примеров использования для расчетов экспериментальных данных различного вида (потенциометрия, калориметрия, кондуктометрия, ИК и ЯМР-спектроскопия);
- формирование умений и навыков использования метода для расчета по кривым титрования различных характеристик равновесной системы, таких как константы нестойкости, произведения растворимости, оптические или термодимические свойства.

### 2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Расчет констант равновесий» входит в Элективные дисциплины 6 обязательной части Блока 1. «Дисциплины» учебного плана.

Она закладывает знания для подготовки выпускной работы, научно-исследовательской работы. Дисциплина непосредственно связана с дисциплинами учебного плана направления 04.04.01 Химия, магистерская программа «Аналитическая химия».

**3. Объем дисциплины:** 6 зачетных единиц, 216 академических часов, в том числе:

**контактная аудиторная работа:** лекции 15 часов, лабораторные работы 75 часов, в т. ч. лабораторная практическая подготовка 75 часов;

**самостоятельная работа:** 126 часов, в том числе контроль 36 часов.

**4. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ОПК-1 Способен выполнять комплексные экспериментальные и расчетно-теоретические	ОПК-1.1 Использует существующие и разрабатывает новые методики получения и характеристики веществ и

<p>исследования в избранной области химии или смежных наук с использованием современных приборов, программного обеспечения и баз данных профессионального назначения.</p>	<p>материалов для решения задач в избранной области химии или смежных наук;</p> <p>ОПК-1.2 Использует современное оборудование, программное обеспечение и профессиональные базы данных для решения задач в избранной области химии или смежных наук.</p>
<p>ОПК-2 Способен анализировать, интерпретировать и обобщать результаты экспериментальных и расчетно-теоретических работ в избранной области химии или смежных наук.</p>	<p>ОПК-2.1 Проводит критический анализ результатов собственных экспериментальных и расчетно-теоретических работ, корректно интерпретирует их;</p> <p>ОПК-2.2 Формулирует заключения и выводы по результатам анализа литературных данных, собственных экспериментальных и расчетно-теоретических работ в избранной области химии или смежных наук.</p>

**5. Форма промежуточной аттестации и семестр прохождения:**

экзамен в 3-м семестре.

**6. Язык преподавания: русский.**

**II. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий**

Учебная программа – наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)			Самостоятельная работа, в том числе Контроль (час.)
		Лекции	Практические (лабораторные) работы	Контроль самостоятельной работы (в том числе курсовая работа)	
1. Введение	1	1	-	-	-
2. Математические основы моделирования химических равновесий	1	1	-	-	-

3. Компьютерная программа для метода математического моделирования равновесий Solution RSS	9	1	2	-	6
4. Моделирование кислотно-основных равновесий	5	1	1	-	3
5. Моделирование равновесий комплексообразования	5	1	1	-	3
6. Моделирование окислительно-восстановительных равновесий	10	2	3	-	5
7. Моделирование равновесий с участием малорастворимых соединений	17	2	4	-	11
8. Учет ионной силы раствора при расчете констант равновесия	18	1	4	-	13
9. Решение обратной задачи расчета химических равновесий	57	2	20	-	35
10. Расчет химических равновесий по экспериментальным наборам данных	93	3	40	-	50
<b>Итого</b>	<b>216</b>	<b>15</b>	<b>75</b>	<b>0</b>	<b>126</b>

### III. Образовательные технологии

Учебная программа – наименование разделов и тем (в строгом соответствии с разделом II РПД)	Вид занятия	Образовательные технологии
1. Введение	• лекция	Лекция, Дискуссионные технологии
2. Математические основы моделирования химических равновесий	• лекция, • лабораторная работа	Лекция, Дискуссионные технологии, Информационные (цифровые)
3. Компьютерная программа для метода математического моделирования равновесий Solution RSS	• лекция, • лабораторная работа	Лекция, Дискуссионные технологии, Информационные (цифровые)
4. Моделирование кислотно-основных равновесий	• лекция, • лабораторная работа	Лекция, Дискуссионные технологии, Информационные (цифровые)
5. Моделирование равновесий комплексообразования	• лекция, • лабораторная работа	Лекция, Дискуссионные технологии, Информационные (цифровые)
6. Моделирование окислительно-восстановительных равновесий	• лекция, • лабораторная работа	Лекция, Дискуссионные технологии, Информационные (цифровые)

7. Моделирование равновесий с участием малорастворимых соединений	<ul style="list-style-type: none"> <li>• лекция,</li> <li>• лабораторная работа</li> </ul>	Лекция, Дискуссионные технологии, Информационные (цифровые)
8. Учет ионной силы раствора при расчете констант равновесия	<ul style="list-style-type: none"> <li>• лекция,</li> <li>• лабораторная работа</li> </ul>	Лекция, Дискуссионные технологии, Информационные (цифровые)
9. Решение обратной задачи расчета химических равновесий	<ul style="list-style-type: none"> <li>• лекция,</li> <li>• лабораторная работа</li> </ul>	Лекция, Дискуссионные технологии, Информационные (цифровые)
10. Расчет химических равновесий по экспериментальным наборам данных	<ul style="list-style-type: none"> <li>• лекция,</li> <li>• лабораторная работа</li> </ul>	Лекция, Дискуссионные технологии, Информационные (цифровые)

#### IV. Оценочные материалы для проведения текущей и промежуточной аттестации

№	Результат (индикатор)	Формулировка задания	Вид работы / способ	Критерии оценивания
<b>МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ АТТЕСТАЦИИ</b>				
1.	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-2.1	<p>. В результате эксперимента была синтезирована органическая кислота (<math>H_nL</math>). Было проведено рН-метрическое титрование (шаг титрования 1,0 мл) и получен набор данных.</p> <p>Требуется определить основность кислоты и рассчитать константы ступенчатой диссоциации.</p> <p><math>V(H_nL) = 25,0</math> мл  <math>C(H_nL) = 0.0191</math> М  <math>C(NaOH) = 0.0334</math> М</p> <p>Для расчетов использовать программу для решения обратной задачи равновесия.</p>	<p>вид: самостоятельная лабораторная работа</p> <p>способ: письменный (матрица и расчет констант) и на компьютере (расчет концентраций и итоговое решение)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Имеется полное верное решение, включающее правильный ответ – 4 баллов;</li> <li>• Дано верное решение, но допущены несущественные фактические ошибки, не искажающие общего смысла – 2-3 балла;</li> <li>• Имеется верное решение только части задания – 1 балл.</li> </ul>
2.	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-2.1	<p>Было проведено потенциметрическое титрование 50,0 мл раствора вновь синтезированного органического соединения (L) раствором <math>FeCl_3</math> (шаг титрования 1,5 мл). На основании полученной экспериментальной кривой рассчитать константы нестойкости. Учесть возможность</p>	<p>вид: самостоятельная лабораторная работа</p> <p>способ: письменный (матрица и расчет констант) и на</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Имеется полное верное решение, включающее правильный ответ – 4 баллов;</li> <li>• Дано верное решение, но допущены несущественные</li> </ul>

		<p>образования нескольких типов комплексов.  <math>C(L) = 0.0312 \text{ M}</math>  <math>C(\text{FeCl}_3) = 0.0281 \text{ M}</math></p> <p>Для расчетов использовать программу для решения обратной задачи равновесия.</p>	<p>компьютере (расчет концентраций и итоговое решение)</p>	<p>фактические ошибки, не искажающие общего смысла – 2-3 балла;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Имеется верное решение только части задания – 1 балл.</li> </ul>
3.	<p>ОПК-1.1  ОПК-1.2  ОПК-2.1</p>	<p>В результате исследования вновь синтезированного соединения (<math>\text{H}_n\text{L}</math>) на возможность образования комплексов с ионом цинка была проведена серия исследований:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) рН-метрическое титрование 40, мл раствора <math>\text{H}_n\text{L}</math> раствором <math>\text{NaOH}</math> (шаг титрования 1,0 мл);</li> <li>2) потенциметрическое титрование 50,0 мл раствора <math>\text{H}_n\text{L}</math> раствором <math>\text{ZnCl}_2</math> (шаг титрования 0,75 мл).</li> </ol> <p><math>C(\text{H}_n\text{L}) = 0.0457 \text{ M}</math>  <math>C(\text{NaOH}) = 0.0204 \text{ M}</math>  <math>C(\text{ZnCl}_2) = 0.372 \text{ M}</math></p> <p>Анализируя экспериментальные данные с использованием программы для решения обратной задачи равновесия необходимо определить:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Основность <math>\text{H}_n\text{L}</math> и рассчитать константы ступенчатой диссоциации по каждой ступени;</li> <li>2) Предложить варианты состава комплексов и, в случае подтверждения их существования, рассчитать для них константы нестойкости (<math>\text{ZnL}</math>, <math>\text{ZnHL}</math>, <math>\text{ZnL}_2</math> и т.п.)</li> </ol>	<p>вид: самостоятельная лабораторная работа</p> <p>способ: письменный (матрица и расчет констант) и на компьютере (расчет концентраций и итоговое решение)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Имеется полное верное решение, включающее правильный ответ – 5 баллов;</li> <li>• Дано верное решение, но допущены несущественные фактические ошибки, не искажающие общего смысла – 2-4 баллов;</li> <li>• Имеется верное решение только части задания – 1 балл.</li> </ul>
4.	<p>ОПК-1.1  ОПК-1.2  ОПК-2.1</p>	<p>На основании экспериментальных данных по окислению исследуемого органического соединения (<math>Z</math>) в присутствии <math>\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7</math>, в виде кривых потенциметрического титрования, необходимо определить количество электронов, участвующих в процессе, а также стандартный электродный потенциал данной полуреакции.</p>	<p>вид: самостоятельная лабораторная работа</p> <p>способ: письменный (матрица и расчет констант) и на компьютере (расчет концентраций)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Имеется полное верное решение, включающее правильный ответ – 5 баллов;</li> <li>• Дано верное решение, но допущены несущественные фактические ошибки, не искажающие</li> </ul>

		<p>Было сделано 3 набора измерений со следующими условиями (шаг титрования везде равен 1,0 мл):</p> <p>1 исследование  <math>Z - 25,0</math> мл, <math>0,0433</math> М  <math>K_2Cr_2O_7 - 0,0246</math> М</p> <p>2 исследование  <math>Z - 25,0</math> мл, <math>0,0314</math> М  <math>K_2Cr_2O_7 - 0,0246</math> М</p> <p>3 исследование  <math>Z - 20,0</math> мл, <math>0,0241</math> М  <math>K_2Cr_2O_7 - 0,0123</math> М</p> <p>Для расчетов использовать программу для решения обратной задачи равновесия.</p>	и итоговое решение)	<p>общего смысла – 2-4 баллов;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Имеется верное решение только части задания – 1 балл.</li> </ul>
5.	<p>ОПК-1.1  ОПК-1.2  ОПК-2.1  ОПК-2.2</p>	<p>Имеется набор данных, полученных в ходе рН-метрического титрования 20,0 мл синтезированной органической кислоты, содержащей две карбоксильные группы, раствором гидроксида натрия (NaOH), шаг титрования 1,0 мл.  <math>C(\text{кислота}) = 0,0315</math> М,  <math>C(\text{NaOH}) = 0,0112</math> М.</p> <p>Используя программу для решения обратной задачи равновесия рассчитать константы ступенчатой диссоциации данной кислоты.  Возможным использованием индикатора – пренебречь.</p>	<p>вид:  самостоятельная лабораторная работа  способ:  письменный (матрица и расчет констант) и на компьютере (расчет концентраций и итоговое решение)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Имеется полное верное решение, включающее правильный ответ – 5 баллов;</li> <li>• Дано верное решение, но допущены несущественные фактические ошибки, не искажающие общего смысла – 2-4 баллов;</li> <li>• Имеется верное решение только части задания – 1 балл.</li> </ul>
6.	<p>ОПК-1.1  ОПК-1.2  ОПК-2.1  ОПК-2.2</p>	<p>Было проведено потенциметрическое титрование 30,0 мл раствора <math>AgNO_3</math> в присутствии NaOH исследуемым органическим соединением (L). Получены данные зависимости E от объема титранта, шаг титрования 1,0 мл.  Предполагается возможность образования комплексного соединения <math>AgL</math>.  <math>C(AgNO_3) = 0,0240</math> М,  <math>C(NaOH) = 0,1241</math> М.  <math>C(L) = 0,0212</math> М.</p> <p>Используя программу для решения обратной задачи равновесия необходимо проверить гипотезу о</p>	<p>вид:  самостоятельная лабораторная работа  способ:  письменный (матрица и расчет констант) и на компьютере (расчет концентраций и итоговое решение)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Имеется полное верное решение, включающее правильный ответ – 5 баллов;</li> <li>• Дано верное решение, но допущены несущественные фактические ошибки, не искажающие общего смысла – 2-4 баллов;</li> <li>• Имеется верное решение только</li> </ul>

		существовании $AgL$ . В случае существования комплексного соединения, требуется рассчитать его константу нестойкости.		части задания – 1 балл.
<b>МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ</b>				
7.	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-2.1 ОПК-2.2	<p>Имеется набор данных, полученных в ходе потенциометрического титрования смеси из 50,0 мл раствора <math>FeCl_3</math> и 10,0 мл раствора <math>HCl</math> – раствором тетранатриевой соли ЭДТА (<math>Na_4L</math>) в присутствии сульфосалициловой кислоты (индикатор), шаг титрования 0,5 мл. Известно, что возможно образование двух комплексов: <math>[FeL]</math> и <math>[FeHL]</math> (заряды опущены)  <math>C(FeCl_3) = 0,0563 M</math>,  <math>C(Na_4L) = 0,0385 M</math>.  <math>C(HCl) = 0,05 M</math>.</p> <p>Используя программу для решения обратной задачи равновесия рассчитать константы нестойкости комплексных соединений.  Участием индикатора – пренебречь.</p>	<p>вид: самостоятельная лабораторная работа способ: письменный (матрица и расчет констант) и на компьютере (расчет концентраций и итоговое решение)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Имеется полное верное решение, включающее правильный ответ – 6 баллов;</li> <li>Дано верное решение, но допущены несущественные фактические ошибки, не искажающие общего смысла – 3-5 баллов;</li> <li>Имеется верное решение только части задания – 1-2 балла.</li> </ul>
8.	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-2.1 ОПК-2.2	<p>Было проведено УФ-спектрофотометрическое титрование 50,0 мл раствора <math>CuCl_2</math> синтезированным органическим соединением (<math>L</math>). Получен набор данных поглощения на заданной длине волны в зависимости от объема добавленного титранта, шаг титрования 1,0 мл. Согласно предварительному анализу известно, что возможно образование двух комплексов <math>CuL</math> и <math>CuL_2</math>.  <math>C(CuCl_2) = 0,0326 M</math>,  <math>C(L) = 0,0213 M</math>.</p> <p>Используя программу для решения обратной задачи равновесия рассчитать константы нестойкости комплексных соединений.</p>	<p>вид: самостоятельная лабораторная работа способ: письменный (матрица и расчет констант) и на компьютере (расчет концентраций и итоговое решение)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Имеется полное верное решение, включающее правильный ответ – 6 баллов;</li> <li>Дано верное решение, но допущены несущественные фактические ошибки, не искажающие общего смысла – 3-5 баллов;</li> <li>Имеется верное решение только части задания – 1-2 балла.</li> </ul>

## **V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### 1) Рекомендуемая литература

#### а) Основная литература

1. Рясенский С.С. Математическое моделирование гомогенных химических равновесий Тверь, ТвГУ. 2011. 106 с.

#### б) Дополнительная литература

1. Аналитическая химия: учебник [Электронный ресурс]/ Н.И. Мовчан, Р.Г. Романова, Т.С. Горбунова [и др.]. – М.: ИНФРА-М, 2023. – 394 с. – (Высшее образование). – Режим доступа: <https://znanium.com/catalog/document?id=426507>
2. Краткий справочник физико-химических величин [Текст]: справочное издание / под ред. А.А. Равделя, А.М. Пономаревой. – 10-е изд., испр. и доп. – СПб.: Иван Федоров, 2003. – 238 с.

### 2) Программное обеспечение:

- Google Chrome
- Яндекс Браузер
- Kaspersky Endpoint Security 10
- Многофункциональный редактор ONLYOFFICE
- Solution RSS (собственная разработка)
- ОС Linux Ubuntu

### 3) Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

- <https://www.znanium.com> ЭБС «ZNANIUM.COM»;
- <https://biblioclub.ru> ЭБС «Университетская библиотека онлайн»;
- <https://e.lanbook.com> ЭБС «Лань».

### 4) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

- <https://elibrary.ru>
- <https://lms.tversu.ru>
- <https://chemequ.ru>
- <https://www.chem.msu.ru/rus/elibrary/books.html>
- <https://chembaby.ru/predmety/analiticheskaya-ximiya/materials>

## **VI. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины**

### **Программа дисциплины**

Тема 1. Введение.

Основные понятия, определения. Методы вычисления коэффициентов активности компонентов.

## Тема 2. Математические основы моделирования химических равновесий.

Математическое моделирование химических равновесий. Прямая задача. Основные законы химических равновесий. Формулировка «прямой задачи» равновесия. Формулировка «прямой задачи» для гомогенных химических равновесий в растворах. Общая формулировка «прямой задачи» химических равновесий в газовой среде при постоянном давлении. Формулировка «прямой задачи» равновесия в многофазных системах. Решение обратной задачи математического моделирования химических равновесий. Основные понятия математической статистики, применяемые для обработки результатов наблюдений.

## Тема 3. Компьютерная программа для метода математического моделирования равновесий Solution RSS

Сущность метода Бринкли. Базисные частицы, продукты реакций. Тривиальные равновесия. Базис системы. Смена базиса системы. Матрица стехиометрических коэффициентов. Правила подготовки и ввода исходных данных для компьютерного расчета. Форма представления результатов расчетов. Интерпретация полученных результатов.

## Тема 4. Моделирование кислотно-основных равновесий

Выбор базисных частиц. Составление расширенного базиса. Расчет равновесных концентраций всех частиц в растворе. Построение долевого распределения кислотно-основных форм в растворе. Построение кривых титрования в различных комбинациях.

## Тема 5. Моделирование равновесий комплексообразования

Выбор базисных частиц. Составление расширенного базиса. Расчет равновесных концентраций всех частиц в растворе. Построение долевого распределения комплексных форм в растворе. Построение кривых титрования в различных комбинациях. Прогнозирование поведения системы при различных воздействиях на нее (влияние pH, соотношения компонентов и т.д.)

## Тема 6. Моделирование окислительно-восстановительных равновесий

Выбор базисных частиц. Составление расширенного базиса. Расчет равновесных концентраций всех частиц в растворе. Построение долевого распределения окислительно-восстановительных форм в растворе. Построение кривых титрования в различных комбинациях титрантов. Построение кривых кулонометрическим методом (гальваностатический режим). Прогнозирование поведения системы при различных воздействиях на нее (влияние pH, соотношения компонентов, ОВ-потенциала и т.д.)

Тема 7. Моделирование равновесий с участием малорастворимых соединений.

Выбор базисных частиц. Составление расширенного базиса. Расчет равновесных концентраций всех частиц в растворе. Прогнозирование поведения системы при различных воздействиях на нее (влияние рН, соотношения компонентов, ОВ-потенциала, лигандов и т.д.)

Тема 8. Учет ионной силы раствора при расчете констант равновесия.

Ионная сила раствора. Активность и коэффициенты активности. Уравнение Дебая — Хюккеля. Уравнение Девиса. Учет ионной силы раствора при составлении матрицы стехиометрических коэффициентов.

Тема 9. Решение обратной задачи расчета химических равновесий

«Обратная задача». Обзор существующего программного обеспечения и используемые алгоритмы для решения обратной задачи. Причина многообразия программного обеспечения и рассчитываемые характеристики. Выбор базисных частиц. Составление расширенного базиса. Структура командных файлов программ. Использование программного обеспечения для расчета констант равновесия реакций, описываемых матрицей стехиометрических коэффициентов и их пересчет в другие характеристики.

Тема 10. Расчет химических равновесий по экспериментальным наборам данных

Подготовка экспериментальных данных. Выбор реакций для включения в матрицу стехиометрических коэффициентов. Проверка гипотез по типам вероятных комплексных соединений. Выбор стартовых констант и проверка адекватности получаемых результатов. Расчет различных характеристик (константы ступенчатой диссоциации, константы нестойкости, произведения растворимости, стандартные электродные потенциалы, энтальпии образования).

### ***Программа для самоконтроля и контроля преподавателем результативности изучения дисциплины***

Математическое моделирование химических равновесий. Прямая задача. Основные законы химических равновесии. Формулировка «прямой задачи» равновесии. Формулировка «прямой задачи» для гомогенных химических равновесий в растворах. Общая формулировка «прямой задачи» химических равновесий в газовой среде при постоянном давлении. Формулировка «прямой задачи» равновесии в многофазных системах. Решение обратной задачи математического моделирования химических равновесий.

Компьютерная программа для метода математического моделирования равновесий. Сущность метода Бринкли. Базисные частицы, продукты реакций.

Тривиальные равновесия. Базис системы. Матрица стехиометрических коэффициентов. Правила подготовки и ввода исходных данных для компьютерного расчета. Форма представления результатов расчетов. Интерпретация полученных результатов.

Свободная эксплуатация компьютерной техники и основных компьютерных программ по методу математического моделирования химических равновесий.

Математическое моделирование химических равновесий - обратная задача. Компьютерная программа для метода математического моделирования равновесий. Сущность метода Бринкли для обратной задачи. Расчет различных характеристик систем (константы ступенчатой диссоциации, константы нестойкости, произведения растворимости, стандартные электродные потенциалы, энтальпии образования).

### Вопросы итогового экзамена (примерные)

#### Билет № 1

1. Составьте матрицу стехиометрических коэффициентов и приведите константы возможных равновесий для системы:  
комплексон;  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ;  $\text{CuSO}_4$ ;  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .  
В качестве базисных частиц возьмите: Н; Fe; Cu; анион (полностью ионизированный) комплексона.
2. Составьте матрицу стехиометрических коэффициентов и приведите константы возможных равновесий для системы:  
комплексон; Янтарная кислота;  $\text{CuSO}_4$ ;  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .  
В качестве базисных частиц возьмите: Н; Cu; анионы (полностью ионизированные) комплексонов.
3. Откройте файл, содержащий данные эксперимента по потенциометрическому титрованию («experiment\_1.xlsx»). В нем представлены данные титрования некоего органического соединения Z (50,0 мл, 0.0294 М) раствором  $\text{FeCl}_3$  (шаг титрования 0,75 мл, 0.0175 М). Предполагается наличие комплексов состава  $[\text{FeZ}]$  и  $[\text{FeHZ}]$ . Определите для этих комплексов константы нестойкости. Возможное образование гидроксокомплексов не учитывать.

---

Примечание: Для заданий 1-2 в качестве комплексона используйте Этилендиаминтетрауксусную кислоту.

#### Билет № 2

1. Составьте матрицу стехиометрических коэффициентов и приведите константы возможных равновесий для системы:  
комплексон;  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ;  $\text{CuSO}_4$ ;  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .  
В качестве базисных частиц возьмите: Н; Fe; Cu; анион (полностью ионизированный) комплексона.

2. Составьте матрицу стехиометрических коэффициентов и приведите константы возможных равновесий для системы:  
комплексон; Янтарная кислота;  $\text{CuSO}_4$ ;  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .  
В качестве базисных частиц возьмите: Н; Сu; анионы (полностью ионизированные) комплексонов.
3. Откройте файл, содержащий данные эксперимента по потенциометрическому титрованию («experiment\_2.xlsx»). В нем представлены данные титрования некоего органического соединения Z (50,0 мл, 0.0314 М) раствором  $\text{FeCl}_3$  (шаг титрования 0,75 мл, 0.0245 М). Предполагается наличие комплексов состава  $[\text{FeZ}]$  и  $[\text{FeHZ}]$ . Определите для этих комплексов константы нестойкости. Возможное образование гидроксокомплексов не учитывать.

---

Примечание: Для заданий 1-2 в качестве комплексона используйте Нитрилотриуксусную кислоту.

#### Билет № 3

1. Составьте матрицу стехиометрических коэффициентов и приведите константы возможных равновесий для системы:  
комплексон;  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ;  $\text{CuSO}_4$ ;  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .  
В качестве базисных частиц возьмите: Н; Fe; Сu; анион (полностью ионизированный) комплексона.
2. Составьте матрицу стехиометрических коэффициентов и приведите константы возможных равновесий для системы:  
комплексон; Янтарная кислота;  $\text{CuSO}_4$ ;  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .  
В качестве базисных частиц возьмите: Н; Сu; анионы (полностью ионизированные) комплексонов.
3. Откройте файл, содержащий данные эксперимента по потенциометрическому титрованию («experiment\_3.xlsx»). В нем представлены данные титрования некоего органического соединения Z (50,0 мл, 0.0290 М) раствором  $\text{FeCl}_3$  (шаг титрования 0,75 мл, 0.0151 М). Предполагается наличие комплексов состава  $[\text{FeZ}]$  и  $[\text{FeHZ}]$ . Определите для этих комплексов константы нестойкости. Возможное образование гидроксокомплексов не учитывать.

---

Примечание: Для заданий 1-2 в качестве комплексона используйте Иминодиуксусную кислоту.

#### Билет № 4

1. Составьте матрицу стехиометрических коэффициентов и приведите константы возможных равновесий для системы:  
комплексон;  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ;  $\text{CuSO}_4$ ;  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .  
В качестве базисных частиц возьмите: Н; Fe; Сu; анион (полностью ионизированный) комплексона.
2. Составьте матрицу стехиометрических коэффициентов и приведите константы возможных равновесий для системы:

комплексон; Янтарная кислота;  $\text{CuSO}_4$ ;  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

В качестве базисных частиц возьмите: Н; Cu; анионы (полностью ионизированные) комплексонов.

- Откройте файл, содержащий данные эксперимента по потенциметрическому титрованию («experiment\_4.xlsx»). В нем представлены данные титрования некоего органического соединения Z (50,0 мл, 0.0240 М) раствором  $\text{FeCl}_3$  (шаг титрования 0,75 мл, 0.0290 М). Предполагается наличие комплексов состава  $[\text{FeZ}]$  и  $[\text{FeHZ}]$ . Определите для этих комплексов константы нестойкости. Возможное образование гидроксокомплексов не учитывать.

---

Примечание: Для заданий 1-2 в качестве комплексона используйте Иминодиянтарную кислоту.

#### Билет № 5

- Составьте матрицу стехиометрических коэффициентов и приведите константы возможных равновесий для системы:  
комплексон;  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ;  $\text{CuSO}_4$ ;  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .  
В качестве базисных частиц возьмите: Н; Fe; Cu; анион (полностью ионизированный) комплексона.
- Составьте матрицу стехиометрических коэффициентов и приведите константы возможных равновесий для системы:  
комплексон; Янтарная кислота;  $\text{CuSO}_4$ ;  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .  
В качестве базисных частиц возьмите: Н; Cu; анионы (полностью ионизированные) комплексонов.
- Откройте файл, содержащий данные эксперимента по потенциметрическому титрованию («experiment\_5.xlsx»). В нем представлены данные титрования некоего органического соединения Z (50,0 мл, 0.0149 М) раствором  $\text{FeCl}_3$  (шаг титрования 0,75 мл, 0.0177 М). Предполагается наличие комплексов состава  $[\text{FeZ}]$  и  $[\text{FeHZ}]$ . Определите для этих комплексов константы нестойкости. Возможное образование гидроксокомплексов не учитывать.

---

Примечание: Для заданий 1-2 в качестве комплексона используйте Оксиэтилиминодиуксусную кислоту.

#### Билет № 6

- Составьте матрицу стехиометрических коэффициентов и приведите константы возможных равновесий для системы:  
комплексон;  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ;  $\text{CuSO}_4$ ;  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .  
В качестве базисных частиц возьмите: Н; Fe; Cu; анион (полностью ионизированный) комплексона.
- Составьте матрицу стехиометрических коэффициентов и приведите константы возможных равновесий для системы:  
комплексон; Янтарная кислота;  $\text{CuSO}_4$ ;  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

В качестве базисных частиц возьмите: Н; Сu; анионы (полностью ионизированные) комплексонов.

- Откройте файл, содержащий данные эксперимента по потенциометрическому титрованию («experiment\_6.xlsx»). В нем представлены данные титрования некоего органического соединения Z (50,0 мл, 0.0304 М) раствором FeCl<sub>3</sub> (шаг титрования 0,75 мл, 0.0272 М). Предполагается наличие комплексов состава [FeZ] и [FeHZ]. Определите для этих комплексов константы нестойкости. Возможное образование гидроксокомплексов не учитывать.

---

Примечание: Для заданий 1-2 в качестве комплексона используйте Этилендиаминдиянтарную кислоту.

#### Билет № 7

- Составьте матрицу стехиометрических коэффициентов и приведите константы возможных равновесий для системы:  
комплексон; Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>; CuSO<sub>4</sub>; H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.  
В качестве базисных частиц возьмите: Н; Fe; Сu; анион (полностью ионизированный) комплексона.
- Составьте матрицу стехиометрических коэффициентов и приведите константы возможных равновесий для системы:  
комплексон; Янтарная кислота; CuSO<sub>4</sub>; H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.  
В качестве базисных частиц возьмите: Н; Сu; анионы (полностью ионизированные) комплексонов.
- Откройте файл, содержащий данные эксперимента по потенциометрическому титрованию («experiment\_7.xlsx»). В нем представлены данные титрования некоего органического соединения Z (50,0 мл, 0.0282 М) раствором FeCl<sub>3</sub> (шаг титрования 0,75 мл, 0.0162 М). Предполагается наличие комплексов состава [FeZ] и [FeHZ]. Определите для этих комплексов константы нестойкости. Возможное образование гидроксокомплексов не учитывать.

---

Примечание: Для заданий 1-2 в качестве комплексона используйте Лимонную кислоту.

## VII. Материально-техническое обеспечение

Для аудиторной работы

Компьютерный класс № 3 химико-технологического факультета Корпус 3, 170002, Тверская область, г. Тверь, пер. Садовый, д.35	Комплект учебной мебели, мультимедийный проектор, стационарный экран, компьютеры <a href="https://tversu.ru/sveden/objects/cabinets/study_rooms.html">https://tversu.ru/sveden/objects/cabinets/study_rooms.html</a>
---	---

### Для самостоятельной работы

Компьютерный класс № 3 химико-технологического факультета Корпус 3, 170002, Тверская область, г. Тверь, пер. Садовый, д.35	Комплект учебной мебели, мультимедийный проектор, стационарный экран, компьютеры <a href="https://tversu.ru/sveden/objects/cabinets/study_rooms.html">https://tversu.ru/sveden/objects/cabinets/study_rooms.html</a>
---	--

### VIII. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

№ п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины	Описание внесенных изменений	Реквизиты документа, утвердившего изменения
1.			