

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**СОГЛАСОВАНО**

**Заведующий кафедрой**

**Кафедра физической и  
неорганической химии  
(ФиНХ\_ХМФ)**

наименование кафедры

подпись, инициалы, фамилия

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

институт, реализующий ОП ВО

**УТВЕРЖДАЮ**

**Заведующий кафедрой**

**Кафедра физической и  
неорганической химии  
(ФиНХ\_ХМФ)**

наименование кафедры

**канд.хим наук, доцент Денисова  
Л.Т.**

подпись, инициалы, фамилия

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

институт, реализующий дисциплину

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ ЦИКЛ  
РАВНОВЕСИЯ В РАСТВОРАХ**

Дисциплина Б1.В.02.ДВ.04.02 ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ ЦИКЛ  
Равновесия в растворах

Направление подготовки /  
специальность

Направленность  
(профиль)

Форма обучения

Год набора

очная

2019

Красноярск 2021

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования с учетом профессиональных стандартов по укрупненной группе

040000 «ХИМИЯ»

---

Направление подготовки /специальность (профиль/специализация)

04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия, специализация

---

04.05.01.31 Физическая химия

---

Программу  
составили

д.х.н., профессор, Головнев Н.Н.

---

## 1 Цели и задачи изучения дисциплины

### 1.1 Цель преподавания дисциплины

Формирование у студентов фундаментальных знаний, посвященных состоянию химических элементов и термодинамике равновесных процессов в растворах

### 1.2 Задачи изучения дисциплины

Сформировать у студентов целостный подход к анализу химических равновесий в растворе и привить навыки решения практических задач по определению реального состава и концентраций химических форм в растворе с использованием справочной литературы.

1.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

<b>ПК-2:Способен проводить патентно-информационные исследования в выбранной области химии и / или смежных наук</b>
--

1.4 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Курс "Равновесия в растворах" является дисциплиной по выбору вариативной части учебного плана.

Освоение данной дисциплины необходимо для:

Физические методы исследования

Физико-химический анализ

Супрамолекулярная химия

Термодинамическая теория растворов

### 1.5 Особенности реализации дисциплины

Язык реализации дисциплины Русский.

Дисциплина (модуль) реализуется без применения ЭО и ДОТ.

## 2. Объем дисциплины (модуля)

Вид учебной работы	Всего, зачетных единиц (акад.час)	Семестр
		6
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>3 (108)</b>	<b>3 (108)</b>
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>1,94 (70)</b>	<b>1,94 (70)</b>
занятия лекционного типа	0,94 (34)	0,94 (34)
занятия семинарского типа		
в том числе: семинары		
практические занятия	1 (36)	1 (36)
практикумы		
лабораторные работы		
другие виды контактной работы		
в том числе: групповые консультации		
индивидуальные консультации		
иная внеаудиторная контактная работа:		
групповые занятия		
индивидуальные занятия		
<b>Самостоятельная работа обучающихся:</b>	<b>1,06 (38)</b>	<b>1,06 (38)</b>
изучение теоретического курса (ТО)		
расчетно-графические задания, задачи (РГЗ)		
реферат, эссе (Р)		
курсовое проектирование (КП)	Нет	Нет
курсовая работа (КР)	Нет	Нет
<b>Промежуточная аттестация (Зачёт)</b>		

### 3 Содержание дисциплины (модуля)

#### 3.1 Разделы дисциплины и виды занятий (тематический план занятий)

№ п/п	Модули, темы (разделы) дисциплины	Занятия лекционного типа (акад. час)	Занятия семинарского типа		Самостоятельная работа, (акад. час)	Формируемые компетенции
			Семинары и/или Практические занятия (акад. час)	Лабораторные работы и/или Практикумы (акад. час)		
1	2	3	4	5	6	7
1	1. Общие сведения о растворах	2	2	0	2	
2	2. Растворы неэлектролитов и электролитов, сольватация	6	8	0	0	
3	3. Ионные равновесия в растворах	8	6	0	3	
4	4. Константа равновесия, эффекты среды	8	8	0	0	
5	5. Вторичные концентрационные переменные, диаграммы распределения	6	4	0	0	
6	6. Окислительно-восстановительные равновесия	4	8	0	33	
Всего		34	36	0	38	

#### 3.2 Занятия лекционного типа

№ п/п	№ разделы дисциплины	Наименование занятий	Объем в акад. часах		
			Всего	в том числе, в инновационной форме	в том числе, в электронной форме

1	1	Актуальность изучения состояния вещества в растворах. Роль водных растворов в быту, биологии, медицине, гидрометаллургии. Особенности физических и химических свойств воды. Магнитная вода, работы Пикарди. Образование растворов.	2	0	0
2	2	Растворы неэлектролитов. Растворимость неэлектролитов в растворах. Уравнение Сеченова. Растворимость газов. Константа Генри. Сольватация неэлектролитов. Эффекты высаливания и всаливания, их интерпретация	2	0	0
3	2	Сольватация и гидратация ионов и нейтральных молекул. Особенности гидратации катионов и анионов. Физико-химическая теория растворов. Термодинамика образования растворов. Роль энтропийного и энтальпийного факторов.	2	0	0
4	2	Ионное взаимодействие. Контактные и сольватноразделенные ионные пары. Три гидратационные сферы катионов металлов. Особенности их формирования в водно-органических растворах. Пересольватация.	2	0	0

5	3	Типы ионных равновесий в растворах. Равновесия: кислотно-основные, окислительно-восстановительные, комплексообразования. Их особенности и формы записи на различном уровне детализации состава растворов.	2	0	0
6	3	Амфотерные электролиты. Амфолиты. Специфика кислотно-основных равновесий биологически активных веществ: аминокислот, пептидов, белков, лекарств. Цвиттерионы.	2	0	0
7	3	Уравнения материального баланса и сохранения заряда. Материальный баланс раствора и его электронейтральность. Практические примеры их использования. Расчет рН очень разбавленных растворов кислот и оснований.	2	0	0
8	3	Гетерогенное равновесие «твердое тело-раствор». Произведение активности. Закономерности в растворимости ионных соединений. Карбонатное равновесие, его роль в организме человека и окружающей среде. Биоминерализация.	2	0	0

9	4	<p>Константа равновесия - химический инвариант. Закон действующих масс для равновесия в растворе. Эффекты среды. Концепция Льюиса. Активность и коэффициент активности. Константы равновесия выраженные через активности. Концентрационные константы. Ионная сила раствора. Растворы сильных электролитов, кажущаяся степень диссоциации.</p>	2	0	0
10	4	<p>Измерение активности ионов. Ионоселективные мембраны и электроды. Ионметрия. Электроды (индикаторные и сравнения). Хлорсеребряный и каломельный электроды. Устройство и основные принципы работы. Особенности применения, преимущества и недостатки ионоселективных сенсорных датчиков.</p>	2	0	0
11	4	<p>Расчет среднеионных коэффициентов активности ионов. Уравнения для расчета среднеионных коэффициентов активности в водных растворах (Дебая-Хюккеля, Васильева и т.д). Принцип постоянной ионной силы. Правило Харнеда. Теория специфического взаимодействия (SIT) и ее использование.</p>	2	0	0

12	4	<p>Шкалы активности ионов. Проблема определения активности индивидуального иона. Активность ионов водорода. Построение шкалы активности ионов на примере рН. Границы применимости шкалы рН. Шкалы активности других ионов. Стеклообразные электроды. Особенности обращения со стеклянными электродами.</p>	2	0	0
13	5	<p>Вторичные концентрационные переменные. Среднелигандное число. Функция образования. Мольная доля формы. Функция Закомплексованности.</p>	2	0	0
14	5	<p>Диаграммы распределения для многоосновных кислот. Построение и анализ диаграмм распределения химических форм от рН в случае диссоциации многоосновных кислот на основании известных в литературе констант протонирования или констант диссоциации.</p>	2	0	0

15	5	<p>Диаграммы распределения комплексных форм. Построение и анализ диаграмм распределения химических форм от pH при ступенчатом образовании комплексных соединений на основании известных в литературе значений констант устойчивости комплексов.</p>	2	0	0
16	6	<p>Направление окислительно-восстановительных реакций. Стандартные электродные потенциалы (E<sup>0</sup>Ox/Red). Работа в электрохимической цепи. Вычисление <math>\Delta G</math> и константы равновесия при известных (E<sup>0</sup>Ox/Red). Расчет (E<sup>0</sup>Ox/Red) исходя из известных значений стандартных электродных потенциалов для других редокс-пар. Вольтэквивалент.</p>	2	0	0

17	6	Оценка устойчивости различных степеней окисления химических элементов. Формы представления данных по стандартным электродным потенциалам. Ряды Латимера и диаграммы Фроста, их применение. Оценка восстановительной и окислительной способности воды. Критерии для сравнения устойчивости соединений с различными степенями окисления в водных растворах. Влияние рН на равновесия ОВР.	2	0	0
Всего			24	0	0

### 3.3 Занятия семинарского типа

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование занятий	Объем в акад. часах		
			Всего	в том числе, в инновационной форме	в том числе, в электронной форме
1	1	Классификация растворов, их важнейшие физико-химические характеристики. Диаграмма состояния воды. Образование растворов. Механизмы процессов растворения ионных и ковалентных веществ	2	0	0

2	2	<p>Кислотно-основные свойства. Соотношения между экспериментальными (справочные данные) константами диссоциации (Кэксп), Кион и Кд. рКа и рКб, их взаимосвязь. Влияние ионного потенциала центрального иона оксигидроксидов на кислотные и основные свойства. Амфотерные электролиты (<math>z/r=3.5-9.5</math>).</p>	4	0	0
3	2	<p>Растворимость неэлектролитов в растворах. Уравнение Сеченова. Сольватация неэлектролитов. Эффекты высаливания и всаливания, их интерпретации. Константы ионизации (Кион), константы диссоциации (Кд). Влияние природы растворителя и электролита на равновесия "ионоген - ионные пары - сольватированные ионы"</p>	2	0	0
4	2	<p>Особенности гидратации катионов и анионов. Физико-химическая теория растворов. Термодинамика образования растворов. Роль энтропийного и энтальпийного факторов. Контактные и сольватноразделенные ионные пары. Три гидратационные сферы катионов металлов. Особенности их формирования в водно-органических растворах. Пересольватация.</p>	2	0	0

5	3	<p>Равновесия: кислотно-основные, окислительно-восстановительные, комплексообразования. Их характеристика и формы записи на различном уровне детализации состава растворов.</p> <p>Амфолиты. Специфика кислотно-основных равновесий биологически активных веществ: аминокислот, пептидов, белков, лекарств.</p> <p>Цвиттерионы.</p>	2	0	0
6	3	<p>Кислотно-основные равновесия между аква-, гидроксо- и оксокомплексами и генетическая связь между ними. Краткая характеристика состояния s-, p-, d- и f-ионов металлов в некомплексообразующей среде в зависимости от кислотности среды (или pH).</p>	2	0	0
7	3	<p>Материальный баланс раствора и его электронейтральность</p> <p>Практические примеры их использования. Расчет pH очень разбавленных растворов кислот и оснований. Произведение активности.</p> <p>Закономерности в растворимости ионных соединений. Карбонатное равновесие, его роль в организме человека и окружающей среде.</p> <p>Биоминерализация.</p>	2	0	0

8	4	<p>Закон действующих масс для равновесия в растворе. Концепция Льюиса. Активность и коэффициент активности. Константы равновесия выраженные через активности. Концентрационные константы. Ионная сила раствора. Растворы сильных электролитов, кажущаяся степень диссоциации. Ионоселективные мембраны и электроды. Ионметрия. Электроды (индикаторные и сравнения). Хлорсеребряный и каломельный электроды. Устройство и основные принципы работы. Особенности применения, преимущества и недостатки ионоселективных сенсорных датчиков</p>	4	0	0
---	---	--	---	---	---

9	4	<p>Уравнения для расчета среднеионных коэффициентов активности в водных растворах (Дебая-Хюккеля, Васильева и т.д). Принцип постоянной ионной силы. Правило Харнеда. Теория специфического взаимодействия (SIT) и ее использование. Проблема определения активности индивидуального иона. Активность ионов водорода. Построение шкалы активности ионов на примере рН. Границы применимости шкалы рН. Общие представления о функциях кислотности и основности (на примере функции Гаммета или любой другой) Шкалы активности других ионов. Стеклообразные электроды. Особенности обращения со стеклянными электродами</p>	4	0	0
---	---	--	---	---	---

10	5	<p>Среднелигандное число.          Функция образования.          Мольная доля формы.          Функция закомплексованности.          Построение и анализ диаграмм распределения химических форм от рН в случае диссоциации многоосновных кислот на основании известных в литературе констант протонирования или констант диссоциации.          Построение и анализ диаграмм распределения химических форм от рН при ступенчатом образовании комплексных соединений на основании известных в литературе значений констант устойчивости комплексов.</p>	4	0	0
11	6	<p>Стандартные электродные потенциалы (<math>E^{\circ}_{Ox/Red}</math>).          Работа в электрохимической цепи.          Вычисление <math>\Delta G</math> и константы равновесия при известных (<math>E^{\circ}_{Ox/Red}</math>).          Расчет (<math>E^{\circ}_{Ox/Red}</math>) исходя из известных значений стандартных электродных потенциалов для других редокс-пар.          Вольтэквивалент.</p>	4	0	0

12	6	Формы представления данных по стандартным электродным потенциалам. Ряды Латимера и диаграммы Фроста, их применение. Оценка восстановительной и окислительной способности воды. Критерии для сравнения устойчивости соединений с различными степенями окисления в водных растворах. Влияние pH на равновесия.	4	0	0
Всего			26	0	0

### 3.4 Лабораторные занятия

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование занятий	Объем в акад. часах		
			Всего	в том числе, в инновационной форме	в том числе, в электронной форме
Всего					

## 4 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л1.1	Головнев Н. Н., Петров А. И.	Равновесие в растворах: учеб.-метод. пособие [для студентов напр. 02100.10062 «Химия»]	Красноярск: СФУ, 2013

## 5 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

Оценочные средства находятся в приложении к рабочим программам дисциплин.

## 6 Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

6.1. Основная литература			
	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год

Л1.1	Скопенко В. В., Цивадзе А. Ю., Савранский Л. И., Гарновский А. Д.	Координационная химия: учеб. пособие для студентов по специальности 020101.65 - "Химия"	Москва: Академкнига, 2007
Л1.2	Хартли Ф. Р., Бергес К., Оллок Р., Петрухин О. М.	Равновесия в растворах: пер. с англ.	Москва: Мир, 1983
<b>6.2. Дополнительная литература</b>			
	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л2.1	Большакова Т. А., Брыкина Г. Д., Гармаш А. В., Дмитриенко С. Г., Золотов Ю. А.	Основы аналитической химии: Т. 1: учебник для студентов вузов по химическим направлениям : в 2 т.	Москва: Издательский центр "Академия", 2014
Л2.2	Алов Н. В., Барбалат Ю. А., Борзенко А. Г., Гармаш А. В., Золотов Ю. А.	Основы аналитической химии: Т. 2: учебник для студентов вузов по химическим направлениям : в 2 т.	Москва: Издательский центр "Академия", 2014
<b>6.3. Методические разработки</b>			
	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год
Л3.1	Головнев Н. Н., Петров А. И.	Равновесие в растворах: учеб.-метод. пособие [для студентов напр. 02100.10062 «Химия»]	Красноярск: СФУ, 2013

## **7 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

Э1	Скопенко	
Э2		

## **8 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Самостоятельная работа студентов предполагает два ее вида: освоение теоретического материала дисциплины и выполнение заданий для закрепления и проверки опорных знаний.

### Программа теоретического обучения

1. Значение растворов в природе, промышленности, металлургии и медицине. Строение воды и ее важнейшие свойства. Теории кислот и оснований.

2. Классификация растворителей. Свойства неводных растворителей. Донорные числа растворителей и их интерпретация .

3. Коллигативные свойства растворов неэлектролитов. Растворение неэлектролитов. Теория электролитической диссоциации. Истинные электролиты и ионогены. Степень и константа диссоциации. Слабые кислоты и слабые основания. Константы ионизации (Кион), константы диссоциации (Кд). Влияние природы растворителя и электролита на равновесия "ионоген - ионные пары - сольватированные ионы.

4. Соотношения между экспериментальными (справочные данные) константами диссоциации (Кэксп), Кион и Кд, рКа и рКб, их взаимосвязь. Влияние ионного потенциала центрального иона оксигидроксидов на кислотные и основные свойства. Амфотерные электролиты ( $z/r=3.5-9.5$ ).

5. Особенности гидратации катионов и анионов. Физико-химическая теория растворов. Термодинамика образования растворов. Роль энтропийного и энтальпийного факторов.

6. Контактные и сольватноразделенные ионные пары. Три гидратационные сферы катионов металлов. Особенности их формирования в водно-органических растворах. Пересольватация. Равновесия: кислотно-основные, окислительно-восстановительные, комплексообразования. Их особенности и формы записи на различном уровне детализации состава растворов.

7 Амфолиты. Специфика кислотно-основных равновесий биологически активных веществ: аминокислот, пептидов, белков, лекарств. Цвиттерионы

8. Кислотно-основные равновесия между аква-, гидроксо- и оксокомплексами и генетическая связь между ними. Краткая характеристика состояния s-, p-, d- и f-ионов металлов в некомплексообразующей среде в зависимости от кислотности среды (или рН)

9. Материальный баланс раствора и его электронейтральность. Практические примеры их использования. Расчет рН очень разбавленных растворов кислот и оснований.

10. Произведение активности. Закономерности в растворимости ионных соединений. Карбонатное равновесие, его роль в организме человека и окружающей среде. Биоминерализация.

11. Закон действующих масс для равновесия в растворе. Эффекты среды. Концепция Льюиса. Активность и коэффициент активности. Константы равновесия выраженные через активности. Концентрационные константы. Ионная сила раствора. Растворы сильных электролитов, кажущаяся степень диссоциации.

12. Ионоселективные мембраны и электроды. Ионометрия. Электроды (индикаторные и сравнения). Хлорсеребряный и каломельный электроды. Устройство и основные принципы работы.

Особенности применения, преимущества и недостатки ионоселективных сенсорных датчиков.

13. Уравнения для расчета среднеионных коэффициентов активности в водных растворах (Дебая-Хюккеля, Васильева и т.д). Принцип постоянной ионной силы. Правило Харнеда. Теория специфического взаимодействия (SIT) и ее использование.

14. Проблема определения активности индивидуального иона. Активность ионов водорода. Построение шкалы активности ионов на примере рН. Границы применимости шкалы рН. Шкалы активности других ионов. Стеклообразные электроды. Особенности обращения со стеклянными электродами.

15. Среднелигандное число. Функция образования. Мольная доля формы. Функция закомплексованности.

16. Построение и анализ диаграмм распределения химических форм от рН в случае диссоциации многоосновных кислот на основании известных в литературе констант протонирования или констант диссоциации.

17. Построение и анализ диаграмм распределения химических форм от рН при ступенчатом образовании комплексных соединений на основании известных в литературе значений констант устойчивости комплексов.

18. Направление окислительно-восстановительных реакций. Стандартные электродные потенциалы ( $E^{\circ}_{Ox/Red}$ ). Работа в электрохимической цепи. Вычисление  $\Delta G$  и константы равновесия при известных ( $E^{\circ}_{Ox/Red}$ ). Расчет ( $E^{\circ}_{Ox/Red}$ ) исходя из известных значений стандартных электродных потенциалов для других редокс-пар. Вольтэквивалент.

19. Формы представления данных по стандартным электродным потенциалам. Ряды Латимера и диаграммы Фроста, их применение. Оценка восстановительной и окислительной способности воды. Критерии для сравнения устойчивости соединений с различными степенями окисления в водных растворах. Влияние рН на равновесия ОВР.

Теоретическая часть курса изучается с использованием рекомендованной литературы.

Перечень из 6 заданий каждому студенту выдается преподавателем индивидуально и каждый год все задания обновляются. При их подготовке оказывается консультационная помощь преподавателя, предусмотренная учебным планом.

Индивидуальные задания для самостоятельной работы студентов, сформулированные в общем виде, даны ниже.

1. Составить уравнения материально баланса и сохранения

заряда для предложенной системы.

2. С помощью различных известных уравнений типа Дебая-Хюккеля рассчитать среднеионные коэффициенты активности ионов для предложенного раствора электролита в диапазоне его концентраций от 0.0001 до 4 М и сравнить их между собой.

3. Рассчитать и построить функцию образования данной системы из справочных данных по константам устойчивости комплексов. Охарактеризовать последовательность ступенчатого комплексообразования по кривой функции образования.

4. Рассчитать и построить диаграмму распределения химических форм для конкретной системы с использованием известных констант устойчивости. Решением соответствующих уравнений подтвердить условия максимального накопления разных химических форм.

5. С использованием данных по распределению химических форм рассчитать и построить функцию образования предложенной системы.

6. Вычислить  $\Delta G$  и константу равновесия при известном стандартном электродном потенциале ( $E^{\circ}_{Ox/Red}$ ). Построить диаграмму Фроста соответствующую предложенному ряду Латимера.

#### Форма отчетности

Студент представляет домашнее задание в письменном и электронном виде. Само задание должно быть приведено в начале отчета. Сдача заданий ведущему преподавателю в виде собеседования проводится по завершению соответствующего модуля за счет времени отведенного учебным планом на контрольно-самостоятельную работу (КСР). Задание либо засчитывается, либо должно быть сдано после доработки в следующий раз.

### **9 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю) (при необходимости)**

#### 9.1 Перечень необходимого программного обеспечения

9.1.1	MS Power point
9.1.2	MS Internet explorer
9.1.3	Adobe Reader
9.1.4	Microsoft Office Excel

#### 9.2 Перечень необходимых информационных справочных систем

9.2.1	Электронная химическая энциклопедия – он-лайн.- Режим доступа: <a href="http://www.xumuk.ru/encyklopedia/">http://www.xumuk.ru/encyklopedia/</a> .
-------	--

9.2.2	Сайт по применению методов математической статистики и теории вероятностей в аналитической химии для обработки результатов аналитических измерений.- Режим доступа: <a href="http://chemstat.com.ru/">http://chemstat.com.ru/</a>
9.2.3	Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, кафедра коллоидной химии. - Режим доступа: <a href="http://colloid.distant.ru/1-test.html">http://colloid.distant.ru/1-test.html</a>

## **10 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Для проведения лекционных и практических занятий необходимо следующее оборудование:

Технические средства обучения (мультимедийный проектор, интерактивная доска, ПЭВМ).