

Компонент ОПОП 04.03.01 Химия  
наименование ОПОП

Б1.О.20  
шифр дисциплины

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Дисциплины  
(модуля)

Физическая химия

---

Разработчик :

Воронько Н.Г.  
ФИО

доцент кафедры химии  
должность

доктор хим. наук, доцент  
ученая степень,  
звание

Утверждено на заседании кафедры  
химии  
наименование кафедры

протокол № 6 «16» февраля 2024 г.

Заведующий кафедрой химии



Дякина Г.А.  
ФИО

Мурманск  
2024

## Пояснительная записка

Объем дисциплины 12 з.е.

### 1. Результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с индикаторами достижения компетенций, установленными образовательной программой

Компетенции	Индикаторы достижения компетенций	Результаты обучения по дисциплине (модулю)
<p><b>ОПК-1.</b> Способен анализировать и интерпретировать результаты химических экспериментов, наблюдений и измерений</p>	<p><b>ИД-1опк.1</b> Систематизирует и анализирует результаты химических экспериментов, наблюдений, измерений, а также результаты расчетов свойств веществ и материалов. <b>ИД-2опк.1</b> Предлагает интерпретацию результатов собственных экспериментов и расчетно-теоретических работ с использованием теоретических основ традиционных и новых разделов химии. <b>ИД-3опк.1</b> Формулирует заключения и выводы по результатам анализа литературных данных, собственных экспериментальных и расчетно-теоретических работ химической направленности.</p>	<p><b>Знать:</b> физико-химические основы протекания процессов в различных системах; теоретические и практические основы физико-химических методов исследования систем для решения вопросов, связанных с практической деятельностью; современные физико-химические методы исследования различных систем; основные физико-химические величины, константы, их определение, единицы измерения.</p> <p><b>Уметь:</b> использовать физико-химические свойства различных систем при решении профессиональных задач; использовать основные приемы обработки экспериментальных данных; определять основные физико-химические характеристики веществ.</p>
<p><b>ОПК-2.</b> Способен проводить с соблюдением норм техники безопасности химический эксперимент, включая синтез, анализ, изучение структуры и свойств веществ и материалов, исследование процессов с их участием</p>	<p><b>ИД-1опк.2</b> Работает с химическими веществами с соблюдением норм техники безопасности. <b>ИД-2опк.2</b> Проводит синтез веществ и материалов разной природы с использованием имеющихся методик. <b>ИД-3опк.2</b> Проводит стандартные операции для определения химического и фазового состава веществ и материалов на их основе. <b>ИД-4опк.2</b> Проводит исследования свойств веществ и материалов с использованием серийного научного оборудования.</p>	<p><b>Владеть:</b> методами экспериментальных определений физико-химических величин; навыками постановки эксперимента и обработки экспериментальных результатов; навыками выполнения химических лабораторных операций.</p>
<p><b>ОПК-3.</b> Способен применять расчетно-теоретические методы для изучения</p>	<p><b>ИД-1опк.3</b> Применяет теоретические и полуэмпирические модели при решении задач</p>	

свойств веществ и процессов с их участием с использованием современной вычислительной техники	химической направленности. <b>ИД-2опк.3</b> Использует стандартное программное обеспечение при решении задач химической направленности.	
<b>ОПК-4.</b> Способен планировать работы химической направленности, обрабатывать и интерпретировать полученные результаты с использованием теоретических знаний и практических навыков решения математических и физических задач	<b>ИД-1опк.4</b> Использует базовые знания в области математики и физики при планировании работ химической направленности. <b>ИД-2опк.4</b> Обрабатывает данные с использованием стандартных способов аппроксимации численных характеристик. <b>ИД-3опк.4</b> Интерпретирует результаты химических наблюдений с использованием физических законов и представлений.	

## 2. Содержание дисциплины

### Тема 1. Введение

Предмет и содержание курса физической химии. Философские и общенаучные основы дисциплины. Роль физической химии в экологических процессах и защите окружающей среды. Методы физической химии в экологических исследованиях и защите окружающей среды. Основные термодинамические понятия и определения (термодинамическая система, типы систем, термодинамические параметры, функции состояния и процесса). Понятие о термодинамическом равновесии. Равновесные (обратимые) и неравновесные процессы. Квазистатический процесс. Проблема уравнения состояния. Уравнения состояния идеального газа и газа Ван-дер-Ваальса.

### Тема 2. Химическая термодинамика

Первый закон термодинамики. Внутренняя энергия и её свойства. Теплоемкость. Теплота и работа. Полезная работа и работа расширения. Факторы интенсивности и экстенсивности. Работа расширения идеального газа при различных процессах. Энтальпия. Зависимость энтальпии от температуры. Термохимия. Стандартные теплоты образования и сгорания. Закон Гесса и следствия из него. Расчет тепловых эффектов химических процессов. Калориметрия. Классификация калориметров. Бомбовый и пламенный калориметр. Микрокалориметр Кальве. Зависимость теплового эффекта химического процесса от температуры. Закон Кирхгофа. Дифференциальное и интегральное уравнения Кирхгофа. Значение первого закона термодинамики для изучения экологических процессов.

Второй закон термодинамики. Энтропия. Изменение энтропии в необратимых процессах. Изменение энтропии как критерий самопроизвольности и равновесия процесса в изолированной системе. Термодинамические расчеты изменения энтропии в различных обратимых процессах. Энтропия и термодинамическая вероятность системы. Термодинамические потенциалы. Критерии направления самопроизвольного процесса и равновесия. Характеристические функции. Уравнения Гиббса–Гельмгольца.

Химический потенциал. Фундаментальные уравнения Гиббса. Химический потенциал идеального и реального газа, фугитивность и активность. Третий закон термодинамики. Тепловая теорема Нернста. Постулат Планка. Абсолютная энтропия. Многокомпонентные

системы и системы с переменной массой. Условия равновесия и самопроизвольного протекания процессов в многокомпонентных системах.

### **Тема 3. Химическое равновесие**

Закон действующих масс. Константа равновесия. Влияние внешних условий на состояние равновесия. Кинетический и термодинамический выводы константы равновесия. Связь между  $K_p$ ,  $K_c$  и  $K_n$ . Связь константы равновесия и энергии Гиббса. Уравнение изотермы химической реакции. Химическое сродство. Принцип Берглю-Томсена. Выражения для стандартного химического сродства. Зависимость константы равновесия от температуры. Уравнения изобары и изохоры химической реакции.

Экспериментальное определение и расчет константы равновесия по таблицам стандартных термодинамических величин. Расчёт энергии Гиббса и константы равновесия по методу Темкина-Шварцмана. Расчёт химического равновесия в системах при одновременном протекании нескольких реакций. Химическое равновесие в гетерогенных системах.

### **Тема 4. Фазовые равновесия. Физико-химический анализ**

Основные понятия и определения (гомогенная и гетерогенная системы, компонент, независимый компонент, степень свободы). Правило фаз Гиббса. Фазовые переходы первого и второго рода. Равновесие чистого вещества в двух фазах однокомпонентной системы. Уравнение Клаузиуса-Клапейрона. Применение правила фаз к анализу диаграммы состояния однокомпонентных систем. Диаграммы состояния воды, диоксида углерода и серы. Энантиотропные и монокотропные фазовые переходы.

Метод физико-химического анализа. Принципы непрерывности и соответствия. Термический анализ. Построение диаграммы «состав-температура кристаллизации». Применение правила фаз Гиббса к двухкомпонентным системам. Правило рычага. Диаграмма состояния системы с инконгруэнтно плавящимся соединением.

Трёхкомпонентные системы. Закон распределения Нернста. Уравнение Нернста-Шилова. Графическое представление состава трёхкомпонентных систем (треугольники Гиббса и Розебума).

### **Тема 5. Растворы**

Общая характеристика растворов. Классификация растворов. Концентрация растворов. Растворимость газов в жидкостях. Закон Генри. Закон Дальтона. Уравнение Сеченова. Давление насыщенного пара над растворами. Закон Рауля. Идеальные, реальные и предельно разбавленные растворы. Состав пара над идеальным раствором из двух жидкостей. Коллигативные свойства растворов. Осмос и осмотическое давление. Уравнение Вант-Гоффа.

Состав пара над идеальным раствором из двух жидкостей. Первый закон Коновалова. Диаграммы «состав-температура кипения». Второй закон Коновалова. Азеотропные смеси. Перегонка и ректификация. Особенности ректификации реальных растворов, образующих азеотропы. Первый закон Вревского. Ограниченная взаимная растворимость жидкостей. Перегонка с водяным паром.

### **Тема 6. Растворы электролитов**

Предмет электрохимии. Специфика растворов электролитов. Теория электролитической диссоциации Аррениуса и ее недостатки. Степень диссоциации. Изотонический коэффициент. Константа диссоциации слабого электролита. Закон разбавления Оствальда. Применение метода активностей к растворам электролитов. Средняя ионная активность и коэффициент активности. Ионная сила раствора. Правило ионной силы. Основные понятия электростатической теории сильных электролитов Дебая и Гюккеля. Предельный закон Дебая-Гюккеля.

Проводники первого и второго рода. Законы Фарадея. Движение ионов в электрическом поле. Числа переноса. Электрическая проводимость электролитов. Удельная и молярная (эквивалентная) электропроводность. Закон Кольрауша. Уравнения Кольрауша–Онзагера. Релаксационный и электрофоретический эффекты. Электрическая проводимость ионов гидроксония и гидроксида. Электрическая проводимость неводных растворов, твёрдых и расплавленных электролитов.

Определение электропроводности растворов электролитов. Мост Кольрауша. Схема кондуктометрической ячейки. Кондуктометрия, кондуктометрическое титрование.

### **Тема 7. Электродные процессы. Электродвижущие силы**

ЭДС электрохимической системы. Электрохимический потенциал. Возникновение скачка потенциала на границе раздела «металл–раствор электролита». Контактный и диффузионный потенциал. Строение двойного электрического слоя на границе раздела «металл–раствор электролита». Гальванические элементы. Обратимые и необратимые гальванические элементы. Термодинамика гальванического элемента. Уравнение Нернста. Общее выражение для ЭДС гальванического элемента и потенциала отдельного электрода.

Классификация обратимых электродов. Стандартный потенциал электрода. Водородная шкала стандартных потенциалов. Электродные потенциалы в неводных растворах. Электрохимические цепи. Измерение ЭДС гальванических цепей. Потенциометрия. Применение метода ЭДС для определения коэффициентов активности и рН растворов.

### **Тема 8. Кинетика химических реакций**

Скорость химической реакции и методы ее экспериментального определения. Факторы, влияющие на скорость химической реакции. Формальная кинетика. Закон действующих масс и принцип независимости протекания реакций. Константа скорости химической реакции. Молекулярность и порядок реакции. Односторонние реакции 0-го, 1-го, 2-го и n-го порядков. Методы определения порядка и константы скорости реакции (метод подстановки, графический метод, метод Вант-Гоффа, метод Оствальда–Ноесса). Двусторонние реакции 1-го и 2-го порядков. Параллельные односторонние реакции. Последовательные односторонние реакции. Описание кинетики сложных реакций (метод квазистационарных концентраций).

Теория элементарного акта химического взаимодействия. Зависимость скорости реакции от температуры. Теория активных соударений. Уравнение Аррениуса. Энергия активации и методы ее экспериментального определения. Теория активированного комплекса или переходного состояния. Теория абсолютных скоростей реакций. Кинетика реакций в растворах. Основы теории кинетики цепных реакций. Фотохимические реакции, радиационно-химические реакции. Кинетика гетерогенных реакций.

### **Тема 9. Катализ**

Принципы каталитического действия. Особенности кинетики каталитических реакций. Энергия активации каталитических реакций. Гомогенный катализ: кислотно-основной, окислительно-восстановительный, ферментативный и металлокомплексный катализ. Гомогенный катализ в газовой фазе. Гетерогенный катализ. Гетерогенные катализаторы, адсорбция на поверхности катализатора. Теория гетерогенного катализа. Применение в промышленности и перспективы развития гомогенного и гетерогенного катализа.

### **3. Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины**

- мультимедийные презентационные материалы по дисциплине «Физическая химия» представлены в электронном курсе в ЭИОС МАУ;

- методические указания к выполнению лабораторных работ, контрольной работы представлены в электронном курсе в ЭИОС МАУ;

- методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины представлены на официальном сайте МАУ в разделе «Информация по образовательным программам, в том числе адаптированным».

#### **4. Фонд оценочных средств по дисциплине**

Фонд оценочных средств (ФОС) является отдельным компонентом образовательной программы, разработан в форме отдельного документа, представлен на официальном сайте МАУ в разделе «Информация по образовательным программам, в том числе адаптированным». ФОС включает в себя:

- перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения дисциплины;
- задания текущего контроля;
- задания промежуточной аттестации;
- задания внутренней оценки качества образования.

**5. Перечень основной и дополнительной учебной литературы** (печатные издания, электронные учебные издания и (или) ресурсы электронно-библиотечных систем)

#### **Основная литература**

1. Воронько, Н. Г. Химическая термодинамика / Н. Г. Воронько. – Мурманск : Изд-во МГТУ, 2011. – 180 с. (Библиотека МАУ – 150 экз.)
2. Путинцев, Н. М. Практикум по физической химии / Н. М. Путинцев, Н. Г. Воронько. – Мурманск : Изд-во МГТУ, 2008. – 119 с. (Библиотека МАУ – 93 экз.)
3. Путинцев, Н. М. Сборник расчётно-графических заданий по физической химии / Н. М. Путинцев, Н. Г. Воронько. – Мурманск : Изд-во МГТУ, 2006. – 170 с. (Библиотека МАУ – 194 экз.)
4. Физическая химия / К. С. Краснов [и др.]; под ред. К. С. Краснова. В 2 кн. Кн. 1. Строение вещества. Термодинамика.– 3-е изд., испр. – М. : Высшая школа, 2001. – 512 с. (Библиотека МАУ – 29 экз.)
5. Физическая химия / К. С. Краснов [и др.] ; под ред. К. С. Краснова. В 2 кн. Кн. 2. Электрохимия. – 3-е изд., испр. – М. : Высшая школа, 2001. – 319 с. (Библиотека МАУ – 30 экз.)

#### **Дополнительная литература**

6. Киселёва, Е. В. Сборник примеров и задач по физической химии / Е. В. Киселёва, Г. С. Каретников, И. В. Кудряшов. – М. : Высшая школа, 1983. – 456 с. (Библиотека МГТУ – 102 экз.)
7. Краткий справочник физико-химических величин / под ред. А. А. Равделя, А. М. Пономарёвой. – 10-е изд., испр. и доп. – СПб. : «Иван Фёдоров», 2002. – 240 с. (Библиотека МГТУ – 29 экз.)
8. Эткинс, П. Физическая химия. В 2 т. Т. 1 / П. Эткинс ; пер. с англ. К. П. Бутина. – М. : Мир, 1980. – 582 с. (Библиотека МГТУ – 1 экз.)
9. Эткинс, П. Физическая химия. В 2 т. Т. 2 / П. Эткинс ; пер. с англ. К. П. Бутина. – М. : Мир, 1980. – 584 с. (Библиотека МГТУ – 1 экз.)

#### **6. Профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

1) *Государственная система правовой информации - официальный интернет-портал правовой информации- URL: <http://pravo.gov.ru>*

2) *Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» - URL: <http://window.edu.ru>*

3) *Справочно-правовая система. Консультант Плюс - URL:*

<http://www.consultant.ru/>

4) Электронно-библиотечная система «Издательства «ЛАНЬ» <http://e.lanbook>

5) Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн»  
<http://bibli>

6) Электронно-библиотечная система «Консультант студента»

<http://www.studentlibrary.ru/>

Материалы, находящиеся в свободном доступе на следующих сайтах:

<http://chemexpress.fatal.ru>

<http://www.xumuk.ru>

<http://wikipedia.ru>

<http://www.chemport.ru>

<http://djvu-inf.narod.ru/nclib.htm>

## **7. Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства**

1) *Офисный пакет Microsoft Office 2007*

2) *Система оптического распознавания текста ABBYY FineReader*

3) . Офисный пакет Microsoft Office 2010 Russian Academic OPEN, лицензия № 47233444 от 30.07.2010 (договор 32/285 от 27.07.2010 г.)

4) Антивирус Dr.Web Desktop Security Suite (комплексная защита), антивирус Dr.Web Server Security Suite (серверный) (договор №7689 от 23.07.2018, договор №7236 от 03.11.2017, договор №810-000046 от 26.06.2017)

## **8. Обеспечение освоения дисциплины лиц с инвалидностью и ОВЗ**

Обучающиеся из числа инвалидов и лиц с ОВЗ обеспечиваются печатными и (или) электронными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.

**9. Материально-техническое обеспечение дисциплины** представлено в приложении к ОПОП «Материально-технические условия реализации образовательной программы» и включает:

- учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой магистратуры, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения;

- помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде МГТУ;

Не допускается замена оборудования его виртуальными аналогами.

## 10. Распределение трудоемкости по видам учебной деятельности

Таблица 1 - Распределение трудоемкости

Вид учебной нагрузки **	Распределение трудоемкости дисциплины по формам обучения										
	Очная				Очно-заочная				Заочная		
	Семестр			Всего часов	Семестр			Всего часов	Семестр/Курс		Всего часов
	4	5									
Лекции	60	52	-	112							
Практические работы	20	20	-	40							
Лабораторные работы	108	80	-	188							
Контактная работа для выполнения курсовой работы (проекта)	-	-	-	-							
Самостоятельная работа	28	28	-	56							
Выполнение курсовой работы (проекта)	-	-	-	-							
Подготовка к промежуточной аттестации (контроль)	-	36	-	36							
Всего часов по дисциплине	216	216	-	432							

### Формы промежуточной аттестации и текущего контроля

Экзамен	-	+									
Зачет/зачет с оценкой	-/+	-/-									
Курсовая работа (проект)	-	-									
Количество расчетно-графических работ	-	-									
Количество контрольных работ	-	5									
Количество рефератов	-	-									
Количество эссе	-	-									

### Перечень лабораторных работ

№ п/п	Темы лабораторных работ
<b>Очная форма</b>	
<b>4 семестр</b>	
1.	Рефрактометрия. Определение строения молекулы вещества
2.	Калориметрия. Определение интегральной теплоты растворения хорошо растворимой соли
3.	Определение молярной массы растворённого вещества методом криометрии
4.	Термический анализ. Построение диаграммы плавкости двухкомпонентной системы легкоплавких веществ
5.	Изучение диаграммы состояния двойной солевой системы $KNO_3-CsNO_3$
	Изучение растворимости в тройной водно-солевой системе $KNO_3-KCl-H_2O$ при комнатной температуре
6.	Построение диаграммы взаимной растворимости системы фенол–вода
7.	Определение электрической проводимости и константы диссоциации растворов слабых электролитов различных концентраций
8.	Определение электрической проводимости растворов сильных электролитов различных концентраций
9.	Изучение растворимости малорастворимого электролита в воде кондуктометрическим методом. Расчёт стандартных изменений термодинамических функций при растворении
10.	Напряжение в электролитической ячейке
<b>5 семестр</b>	
1.	Изучение катодного процесса восстановления меди из сернокислого электролита
2.	Исследование работы медно-цинкового гальванического элемента Якоби–Даниэля
3.	Определение термодинамических характеристик и константы равновесия $K_p$ обратимой электрохимической реакции по ЭДС и температурному коэффициенту ЭДС гальванического элемента
6.	Определение порядка реакции окисления иодид-ионов ионами трехвалентного железа. Определение частного порядка по отношению к $Fe^{3+}$
5.	Определение порядка реакции окисления иодид-ионов ионами трехвалентного железа. Определение частного порядка по отношению к $I^-$
6.	Определение значений константы скорости и энергии активации каталитической реакции разложения пероксида водорода
7.	Фотометрическое изучение кинетики разложения комплексного иона триоксалата марганца

### Перечень практических работ

№ п/п	Темы практических работ
<b>Очная форма</b>	
<b>4 семестр</b>	
1.	Первый закон термодинамики
2.	Второй закон термодинамики
3.	Элементы статистической термодинамики
4.	Газы
5.	Конденсированное состояние вещества
6.	Фазовое равновесие однокомпонентных систем
7.	Термодинамические характеристики растворов и процессов их образования
8.	Разбавленные растворы

9.	Гетерогенное равновесие в бинарных системах
10.	Гетерогенное равновесие в трёхкомпонентных системах
<b>5 семестр</b>	
1.	Химическое равновесие
2.	Электрическая проводимость. Равновесие в растворах электролитов
3.	Электродвижущие силы. Электродные процессы
4.	Формальная кинетика
5.	Сложные реакции
6.	Зависимость скорости реакции от температуры
7.	Теоретические основы расчёта константы скорости реакции
8.	Кинетика фотохимических и цепных реакций
9.	Кинетика реакций в растворах. Гомогенный и гетерогенный катализ
10.	Кинетика электрохимических реакций

### Перечень контрольных работ

№ п/п	Темы контрольных работ
<b>Очная форма</b>	
1.	<b>КР 1.</b> Основы химической термодинамики
2.	<b>КР 2.</b> Приложения химической термодинамики
3.	<b>КР 3.</b> Фазовые равновесия. Растворы
4.	<b>КР 4.</b> Электрохимия
5.	<b>КР 5.</b> Химическая кинетика