

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Химический факультет

УТВЕРЖДАЮ

И.о. декана химического факультета,
профессор РАН



/С.С. Карлов/
«30» августа 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)
Физическая химия

Уровень высшего образования:
Специалитет

Направление подготовки (специальность):

04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия

Направленность (профиль) ОПОП:

Аналитическая химия, Биохимия и биотехнология, Медицинская химия,
Молекулярная биология и биоорганическая химия, Нефтехимия, Органическая хи-
мия, Радиохимия, Теория и методика обучения химии, Физическая химия,
Химия неорганических веществ и материалов, Химия и технология
композиционных и полимерных материалов, Экологическая химия
и экоадаптивные технологии

Форма обучения:

очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методической комиссией факультета
(протоколы №16 от 07.06.2023, №23 от 25.03.2025)

Москва 2025

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки / специальности 04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия» (программа специалитета), утвержденного приказом МГУ от 29 декабря 2018 года № 1770 (с изменениями по приказу № 1109 от 11.09.2019, № 609 от 10 июня 2021 года, № 700 от 29 мая 2023 года, № 1108 от 30 августа 2024 года, № 476 от 07 апреля 2025 года, решения Ученого совета МГУ от 25 апреля 2023 года).

Год (годы) приема на обучение 2023, 2024, 2025

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: базовая часть ООП, блок ХД, модуль «Физическая и квантовая химия», дисциплина «Физическая химия».

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия.

Для того чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся должен

знать: основы математического анализа, теории вероятности, квантовой химии и строения молекул в объеме соответствующих курсов Химического факультета МГУ;

уметь: формулировать и решать конкретные задачи на основе законов и закономерностей, усвоенных в различных курсах; получать экспериментальные данные, проводить их математическую обработку, обобщать полученные результаты;

владеть: расчетными методами решения химических задач, навыками проведения химического эксперимента с использованием измерительных приборов, навыками поиска необходимых данных в открытых источниках (в том числе, в информационных базах данных).

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников). Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП указано в Общей характеристике ОПОП.

Компетенция	Индикаторы достижения	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
<p>УК-8. Способен использовать современные информационно-телекоммуникационные технологии в социальной и профессиональной сферах</p>	<p>УК-8.1. Использует современные информационные технологии для обмена информацией в деловой и профессиональной сфере с учетом основных требований информационной безопасности</p>	<p>Уметь: использовать программные средства удаленного коллективного доступа для решения задач научной деятельности Уметь: пользоваться программными средствами, автоматизирующими обработку данных (управление базами данных, статистическая обработка, визуализация и т.п.) Владеть: навыками обмена профессиональной информацией с учетом основных требований информационной безопасности</p>
<p>ОПК-1 (на уровне специалиста). Способен решать современные проблемы фундаментальной и прикладной химии, используя методологию научного подхода и систему фундаментальных</p>	<p>ОПК-1.1. Воспринимает информацию химического содержания, систематизирует и анализирует ее, оценивает актуальность и степень новизны данных</p>	<p>Знать: основные законы и закономерности, определяющие направление и результат протекания процессов в гомогенных и гетерогенных системах, способы аналитического представления этих закономерностей Знать: теоретические основы химической термодинамики</p>

химических понятий и законов		Знать: основные теоретические представления для описания кинетики химических реакций Владеть: простейшими расчетными методами решения физико-химических задач
	ОПК-1.3. Предлагает интерпретацию результатов собственных экспериментов и расчетно-теоретических работ с использованием теоретических основ традиционных и новых разделов химии	Уметь: формулировать и решать конкретные задачи на основе законов и закономерностей, освоенных в курсе физической химии
	ОПК-1.4. Формулирует заключения и выводы по результатам анализа литературных данных, собственных экспериментальных и расчетно-теоретических работ химической направленности	Уметь: формулировать заключения и выводы по результатам анализа литературных и собственных экспериментальных данных в области физической химии
ОПК-3 (на уровне специалиста). Владеет методами регистрации и обработки результатов экспериментов, в том числе, полученных на современном научном оборудовании	ОПК-3.2. Систематизирует и анализирует результаты химических экспериментов, наблюдений, измерений	Знать: требования к оформлению и представлению результатов физико-химических работ Уметь: проводить математическую обработку физико-химических данных, обобщать полученные результаты Владеть: навыками оформления протоколов результатов изучения физико-химических свойств веществ и материалов
ОПК-4 (на уровне специалиста). Способен создавать математические модели профессиональных задач, учитывать ограничения и границы применимости моделей, интерпретировать полученные математические результаты	ОПК-4.1. Предлагает математические и (или) физические модели химических процессов	Знать: способы аналитического описания свойств физико-химических систем Уметь: выбирать адекватные физико-химические модели для описания свойств веществ и химических процессов с их участием
ОПК-5 (на уровне специалиста). Способен использовать	ОПК-5.1. Оценивает свойства веществ и материалов, прогнозирует	Знать: теоретические и полуэмпирические методы оценки свойств веществ

современные расчетно-теоретические методы изучения свойств веществ и процессов с их участием при решении профессиональных задач	результаты химических процессов с использованием современных расчетно-теоретических методов и представлений	Уметь: использовать современные расчетно-теоретические методы для оценки свойств веществ и параметров химических реакций Уметь: оценить корректность результатов теоретических расчетов физико-химических свойств
ОПК-6 (на уровне специалиста). Способен использовать в профессиональной деятельности базовые знания в области физики и математики	ОПК-6.2. Обрабатывает данные с использованием стандартных способов аппроксимации численных характеристик	Уметь: проводить необходимые математические преобразования при решении задач физической химии
	ОПК-6.3. Интерпретирует результаты химических наблюдений с использованием физических законов и представлений	Уметь: использовать физические законы и представления при интерпретации результатов физико-химических исследований
ОПК-7 (на уровне специалиста). Способен собирать, анализировать, обрабатывать и представлять информацию с использованием современных компьютерных технологий, общих и профессиональных баз данных.	ОПК-7.1. Использует современные компьютерные технологии при сборе информации химического профиля с использованием общих и профессиональных баз данных	Знать: основные базы данных химического профиля Уметь: корректно составлять поисковый запрос информации химического содержания Владеть: навыками работы с профессиональными базами данных химического профиля
	ОПК-7.2. Использует современные компьютерные технологии при анализе, обработке и представлении результатов профессиональной деятельности	Знать: современные подходы к обработке и представлению результатов физико-химического эксперимента Уметь: применять вычислительные технологии при обработке и представлении результатов физико-химического эксперимента

4. Объем дисциплины (модуля) составляет **6** зачетных единиц, всего **216** часов, из которых **156** часов составляет контактная работа студента с преподавателем (**72** часа - занятия лекционного типа, **72** часа - занятия семинарского типа, **4** часа – групповые консультации, **8** часов - мероприятия промежуточной аттестации), **60** часов составляет самостоятельная работа учащегося. Дисциплина реализуется без применения электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.

5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам.

Наименование и краткое содержание	Всего	В том числе
-----------------------------------	-------	-------------

жание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	(часы)	Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них					Самостоятельная работа обучающегося, часы из них			
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов.п.	Всего
Тема 1. Теоретические основы химической термодинамики	24	12	12				24			
Тема 2. Термодинамика растворов	16	8	8				16			
Тема 3. Фазовые (гетерогенные) равновесия	16	8	8				16			
Тема 4. Химические, электрохимические и адсорбционные равновесия.	16	8	8				16			
Тема 5. Формальная кинетика химических реакций	24	12	12				24			
Тема 6. Приложения химической кинетики. Катализ и кинетика каталитических реакций.	28	14	14				28			

Тема 7. Кинетика реакций в открытых системах, химические реакторы. Макрокинетика. Кинетические методы исследования.	20	10	10				20			
Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>	72			4		8	12			60
Итого	216	72	72	4		8	156			60

Содержание разделов

Тема 1. Постулаты термодинамики. Законы термодинамики в свете логики ее построения. Общее понятие об уравнениях состояния. Термическое уравнение состояния идеального газа. Уравнение состояния газа Ван-дер-Ваальса. Принцип соответственных состояний. Сверхкритические явления. Вириальное уравнение состояния. Уравнение состояния твердой фазы. Термические коэффициенты. Первый закон термодинамики, калорическое уравнение состояния. Работа, расчет в различных процессах. Теплота, теплоемкость, общие понятия. Теории Эйнштейна и Дебая. Зависимость теплоемкости от термодинамических переменных. Методы оценки теплоёмкости. Термохимия, закон Гесса. Стандартные тепловые эффекты для различных процессов. Следствия закона Гесса. Зависимость тепловых эффектов от температуры и давления. Второй закон термодинамики, различные формулировки. Энтропия – функция состояния и характеристическая функция. Фундаментальные уравнения Гиббса. Частные условия фазового равновесия. Частные условия химического равновесия. Изменение энтропии при варьировании термодинамических переменных (T, V, p). Третий закон термодинамики. Энтропия и вероятность. Преобразования Лежандра. Энергии Гиббса и Гельмгольца. Энергия Гиббса как характеристическая функция. Изменение G и F при варьировании их естественных переменных. Изменение G и F при фазовых превращениях, смешении и химической реакции

Тема 2. Растворы, общие понятия. Законы Дальтона, Рауля, Генри и Амага. Химический потенциал. Летучесть и активность как характеристики степени отклонения смеси от идеального поведения. Парциальные мольные свойства, особенности и методы определения. Уравнение Гиббса-Дюгема. Интегральные свойства растворов. Особенности выбора уровня отсчета свойств растворов. Конфигурационный вклад в энергию Гиббса смешения. Избыточная энергия Гиббса растворов. Общие представления о теории устойчивости растворов. Активность, способы ее определения. Основные положения теории Аррениуса. Энергии кристаллической решетки и сольватации ионов. Особенности описания растворов электролитов. Уравнение Дебая-Хюккеля. Коллигативные свойства растворов. Оценки свойств растворов электролитов. Современные теории растворов (общие представления).

Тема 3. Уравнение Клаузиуса-Клапейрона. Фазовые переходы в однокомпонентных системах, градация. Полиморфизм, аллотропические модификации углерода, фосфора и олова. Фазовые переходы и реальность, плюсы и минусы. Общие принципы расчета

равновесий в двухкомпонентных системах. Поверхность рассеянной энергии. Расчет диаграммы состояний эвтектического типа. Понижение температуры кристаллизации раствора. Системы с неограниченной растворимостью в твердом и жидком состоянии. Равновесие «жидкость-пар». Законы Гиббса-Коновалова. Равновесие «жидкость-пар». Различные типы VLE диаграмм. Обобщенное уравнение фазовых равновесий ван дер Ваальса. Законы Гиббса-Коновалова. Зависимость растворимости от давления. Уравнение Планка-ван Лаара. Мембранные равновесия. Осмос. Равновесия с участием стехиометрических (точечных) фаз. Базы данных и программы расчета равновесий.

Тема 4. Изотерма химической реакции. Константа равновесия. Уравнение изохоры и изобары реакции. Влияние среды на химическое равновесие. Расчет равновесного состава. Равновесия при наличии дополнительных силовых полей (и видов работы). Расчет равновесий при изменении площади поверхности. Адсорбция, общие понятия. Типы адсорбции. Метод избытков Гиббса и метод полного содержания. Мономолекулярная адсорбция по Лэнгмюру. Полимолекулярная адсорбция. Уравнение БЭТ. Практическое использование уравнения БЭТ (определение общей поверхности и характеристика пор). Изобара и изостера сорбции. Изостерическая теплота адсорбции. Электрохимические равновесия (общие понятия). Электрохимическая ячейка. Уравнение Нернста. Стандартные электродные потенциалы. Типы электродов. Термодинамика гальванического элемента.

Тема 5. Основные понятия формальной кинетики. Кинетический закон действующих масс, эмпирический кинетический закон. Описание кинетических данных. Прямая и обратная кинетические задачи.

Прямая кинетическая задача: вывод кинетических уравнений для простых реакций целочисленных порядков, анализ уравнений. Кинетика необратимой реакции первого, нулевого, второго и третьего порядка. Обратная кинетическая задача: способы определения кинетических параметров по экспериментальным данным (интегральные и дифференциальные методы). Способы понижения порядка реакции, понятие «псевдопорядок». Понятие об энергии активации. Зависимость константы скорости от температуры. Уравнение Аррениуса. Определение энергии активации из экспериментальных данных.

Сложные реакции, принцип независимости элементарных стадий, понятие о механизме и эффективной (наблюдаемой) константе скорости. Понятия скорость-определяющей стадии, наблюдаемой константы скорости. Опытная и истинная энергии активации. Параллельные, обратимые реакции. Кинетический и термодинамический контроль реакции. Последовательные реакции. Вид кинетических кривых и его зависимость от величин констант скоростей отдельных стадий. Приближения при анализе механизмов химических реакций: принципы квазиравновесия и квазистационарности. Неизотермическая кинетика. Кинетика реакции первого порядка при линейном изменении температуры. Наблюдаемое значение энергии активации и кинетические параметры в неизотермическом режиме. Применение методов неизотермической кинетики.

Тема 6. Сопряженные реакции. Автокаталитические реакции в закрытой системе. Колебательные реакции. Условия появления колебательных процессов в химических системах. Цепные реакции: кинетические особенности, основные стадии, способы иницирования цепных реакций. Кинетическая схема неразветвленной цепной реакции. Разветвленные цепные реакции. Ингибиторы разветвленных цепных реакций. Вероятностный подход к описанию кинетики цепных реакций. Фотохимические реакции, особенности протекания. Основные законы фотохимии. Диаграмма Яблонского. Кинетические схемы и решения кинетической задачи. Понятия флуоресценции и

фосфоресценции, временные характеристики. Кинетика распада возбужденного синглетного состояния. Квантовый выход, кинетика тушения люминесценции.

Кинетика реакций в растворах, законы Фика. Бимолекулярные реакции с диффузионным контролем. Уравнение Смолуховского. Бимолекулярные реакции с частичным диффузионным контролем. Схема формальной кинетики для реакций с диффузионным контролем. Температурная зависимость константы скорости реакций с учетом диффузии. Влияние растворителя на кинетику реакций в растворе. Катализ. Основные понятия. Термодинамический и кинетический аспекты действия катализаторов. Классификация катализаторов и каталитических процессов, основные характеристики катализаторов. Основные макрокинетические стадии каталитической реакции. Роль катализа в современной науке и промышленности.

Кинетика ферментативно- каталитических реакций. Ингибирование. Гомогенный катализ. Общий и специфический кислотный и основной катализ. Функция Гаммета. Корреляционные соотношения. Гетерогенный катализ. Типы гетерогенных катализаторов. Понятие активного центра в гетерогенном катализе. Принцип Сабатье, теория Баландина, теория Кобозева. Кинетика Ленгмюра-Хиншельвуда для описания реакций на поверхности: основные механизмы, реакции с диссоциативной адсорбцией реагента; реакции, осложненные сильной адсорбцией продукта.

Тема 7. Реакции в открытых системах: постановка задачи. Реакторы идеального смешения (РИС) и идеального вытеснения (РИВ). Кинетика реакций целочисленного порядка в РИС и РИВ. Сопоставление работы реакторов. Общие представления о макрокинетике. Кинетическая и диффузионная области. Диффузионно-контролируемые реакции. Особенности диффузионной кинетики при использовании гетерогенных катализаторов; способы перевода реакции в кинетическую область. Особенности проведения химических реакций в промышленных реакторах. Реакторы для гомогенных и гетерогенных процессов. Зависимость степени превращения от времени пребывания в реакторе при диффузионном и кинетически лимитированном процессе. Общие представления о методах исследования кинетики и механизмов химических реакций. Приемы для понимания механизмов каталитических реакций: изотопно-меченные молекулы, роль теоретических расчетов строения переходных состояний. Кинетические методы исследования: струевые, релаксационные, импульсные методы. Современные подходы к проведению и изучению химических реакций (*ex situ*, *in situ*, *operando*)

6. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и вспомогательной учебной литературы ко всему курсу

Основная литература

1. Еремин В.В., Каргов С.И., Успенская И.А., Кузьменко Н.Е., Лунин В.В. Основы физической химии, учебное пособие в 2-х частях, 2-е изд., перераб. и доп, М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 320 с. и последующие издания
2. Романовский Б.В. Основы химической кинетики, М.: Экзамен, 2006. 416 с.
3. Романовский, Б. В. Основы катализа, М: Бином. Лаборатория знаний, 2017. 175 с.

Дополнительная литература

1. Физическая химия. Под ред. Краснова К.С. Т. 1, 2. 3-е изд., испр. М.: Высшая школа, 2001
2. Еремин Е.Н. , Основы химической термодинамики. М.: Высшая школа, 1974
3. Полторак О.М. Термодинамика в физической химии. М.: Высшая школа 1991
4. Морачевский А.С., Кохацкая М.С. Прикладная химическая термодинамика. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2008
5. Пригожин И., Дефей Р., Химическая термодинамика. Новосибирск, 1966
6. Мюнстер А. , Химическая термодинамика, М.: Мир, 1971
7. Байрамов В.М. Основы химической кинетики и катализа. М.: Академия, 2003
8. Эмануэль Н.М., Кнорре Д.Г. Курс химической кинетики. 4-е изд. М.: Высшая школа, 1984
9. Еремин Е.Н. Основы химической кинетики М.: Высшая школа, 1976
10. Чоркендорф И., Наймантсведрайт Х. Современный катализ и химическая кинетика М.: Интеллект, 2010
11. Peter Atkins, Julio de Paula, and James Keeler. Atkins' Physical Chemistry. 11th ed. // OUP Oxford, 2017

7. Язык преподавания – русский

8. Разработчики:

Успенская И.А., доктор химических наук, профессор кафедры физической химии МГУ, ira@td.chem.msu.ru

Пазюк Е.А., доктор химических наук, профессор кафедры физической химии МГУ, pazyukea@gmail.com

Голубина Е.А., доктор химических наук, профессор кафедры физической химии МГУ,