

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:
Бакалавриат

Направление подготовки (специальность):

04.03.01 Химия

Направленность (профиль) ОПОП:
Общая химия

Форма обучения:

очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методической комиссией факультета
(протоколы №3 от 13.05.2019, №23 от 25.03.2025 г.)

Москва 2025

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с ФГОС ВО для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки / специальности 04.03.01 «Химия» (программа бакалавриата), утвержденного приказом Минобрнауки от 17 июля 2017 г. №671. Направленность (профиль) основной профессиональной образовательной программы высшего образования, реализуемой в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом, утвержден приказом МГУ № 1061-19/010-ОСН от 30.08.2019 г.

Год (годы) приема на обучение 2022, 2023, 2024, 2025

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: базовая часть ООП, блок ХД, модуль «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)
УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1. Осуществляет поиск, критический анализ и синтез информации с использованием требований системного подхода	Уметь: находить необходимые для работы сведения в открытых источниках информации Уметь: сопоставлять информацию из разных источников, оценивать ее достоверность Владеть навыками поиска и критического анализа информации по теме научного проекта
	УК-1.2. Формулирует научно обоснованные гипотезы, создает теоретические модели явлений и процессов	Уметь: формулировать научные гипотезы при обсуждении литературных и собственных данных
УК-2. Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать	УК-2.1. Использует современные базы данных для поиска информации по заданной теме	Уметь: анализировать данные, полученные из литературных источников, и использовать их для выбора оптимального способа решения поставленной задачи

<p>оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений</p>	<p>УК-2.2. 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</p> <p>Владеть: навыками обмена профессиональной информации с учетом основных требований информационной безопасности</p>
<p>УК-4. Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(ых) языке(ах)</p>	<p>УК-4.1. Осуществляет письменную и устную коммуникацию на русском и (или) иностранном языке в академической сфере</p>	<p>Уметь: выбирать коммуникативно приемлемый стиль делового общения, использовать необходимые языковые средства, тактики и стратегии для решения коммуникативных задач в академической и профессиональной сферах</p>
	<p>УК-4.3. Работает с текстами разного уровня сложности, отвечающими задачам профессиональной деятельности</p>	<p>Уметь: работать с учебными и научными текстами разного уровня сложности, отвечающих задачам профессиональной деятельности</p>
<p>УК-8. Способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов</p>	<p>УК-8.1. Идентифицирует опасные и вредные факторы в рамках осуществляемой деятельности</p>	<p>Знать: нормы техники безопасности при работе в аналитической лаборатории</p> <p>Уметь: проводить стандартные операции по определению состава веществ и материалов с соблюдением норм ОХ и ТБ</p> <p>Владеть: навыками безопасного обращения с веществами и приборами при работе в аналитической лаборатории</p>

<p>ОПК-1 (на уровне бакалавриата). Способен анализировать и интерпретировать результаты химических экспериментов, наблюдений, измерений</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</p> <p>Знать: теоретические основы химической термодинамики</p> <p>Знать: основные теоретические представления для описания кинетики химических реакций</p> <p>Владеть: простейшими расчетными методами решения физико-химических задач</p>
	<p>ОПК-1.2. Предлагает интерпретацию результатов собственных экспериментов и расчетно-теоретических работ с использованием теоретических основ традиционных и новых разделов химии</p>	<p>Уметь: формулировать и решать конкретные задачи на основе законов и закономерностей, освоенных в курсе физической химии</p>
	<p>ОПК-1.3. Формулирует заключения и выводы по результатам анализа литературных данных, собственных экспериментальных и расчетно-теоретических работ химической направленности</p>	<p>Уметь: формулировать заключения и выводы по результатам анализа литературных и собственных экспериментальных данных в области физической химии</p>
<p>ОПК-2 (на уровне бакалавриата) Способен проводить с соблюдением норм техники безопасности химический эксперимент, включая синтез, анализ, изучение структуры и свойств веществ и</p>	<p>ОПК-2.1. Работает с химическими веществами с соблюдением норм техники безопасности</p>	<p>Знать: правила техники безопасности при работе в химической лаборатории</p> <p>Уметь: работать с химическими веществами с соблюдением норм техники безопасности</p> <p>Уметь: работать на физических приборах с соблюдением норм техники безопасности</p>

<p>материалов, исследование процессов с их участием</p>	<p>ОПК-2.3. Проводит стандартные операции для определения химического и фазового состава веществ и материалов на их основе</p>	<p>Знать: стандартные методы определения физико-химических свойств веществ</p> <p>Уметь: пользоваться стандартным лабораторным оборудованием и приборами при изучении физико-химических свойств веществ</p> <p>Уметь: корректно интерпретировать результаты физико-химического эксперимента</p> <p>Владеть: техникой физико-химического эксперимента</p> <p>Владеть навыками работы на современных физических приборах</p>
<p>ОПК-3 (на уровне бакалавриата) Способен применять расчётно-теоретические методы для изучения свойств веществ и процессов с их участием с использованием современной вычислительной техники</p>	<p>ОПК-3.1. Систематизирует и анализирует результаты химических экспериментов, наблюдений, измерений</p>	<p>Знать: требования к оформлению и представлению результатов физико-химических работ</p> <p>Уметь: проводить математическую обработку физико-химических данных</p> <p>Владеть: простейшими расчетными методами решения физико-химических задач</p>
	<p>ОПК-3.2. Проводит обработку данных с использованием современной вычислительной техники</p>	<p>Уметь: обрабатывать результаты инструментальных опытов с использованием современной вычислительной техники</p>
	<p>ОПК-3.3. Оценивает возможные источники ошибок при проведении эксперимента и корректность полученных данных</p>	<p>Уметь: оценивать возможные источники ошибок и корректность полученных данных</p>
<p>ОПК-4 (на уровне бакалавриата). Способен планировать работы химической направленности, обрабатывать и интерпретировать</p>	<p>ОПК-4.2. Оценивает возможные источники ошибок при проведении физического эксперимента и достоверность данных</p>	<p>Знать: методы статистической обработки результатов исследований, полученных с помощью стандартных инструментальных методов</p>

<p>полученные результаты с использованием теоретических знаний и практических навыков решения математических и физических задач</p>		<p>Уметь: грамотно интерпретировать результаты измерений, полученных с помощью научного оборудования</p> <p>Уметь: пользоваться программными средствами, автоматизирующими обработку данных (управление базами данных, статистическая обработка, визуализация и т.п.)</p>
<p>ОПК-5 (на уровне бакалавриата). Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности</p>	<p>ОПК-5.1. Использует стандартные программные средства и информационные системы для сбора, анализа и представления данных</p>	<p>Знать: основные базы данных химического профиля</p> <p>Уметь: корректно составлять поисковый запрос информации химического содержания и находить необходимые для работы сведения в открытых источниках информации</p>
	<p>ОПК-5.2. Использует современные компьютерные технологии при сборе информации химического профиля с использованием общих и профессиональных баз данных, систематизации и обработке данных</p>	<p>Уметь: использовать программные средства удаленного коллективного доступа для решения задач научной деятельности</p> <p>Уметь: обрабатывать и представлять результаты научных экспериментов с использованием современных компьютерных технологий</p> <p>Владеть: навыками обмена профессиональной информацией с учетом основных требований информационной безопасности</p>
<p>ОПК-6 (на уровне бакалавриата). Способен представлять результаты своей работы в устной и письменной форме в соответствии с нормами и правилами, принятыми в профессиональном сообществе</p>	<p>ОПК-6.1. Представляет результаты работы в виде отчета по стандартной форме на русском языке</p>	<p>Знать: требования к оформлению и представлению результатов работ в области физической химии</p> <p>Знать: требования к представлению материала в виде презентации научного доклада</p> <p>Владеть: навыками оформления протоколов физико-химического анализа</p>
	<p>ОПК-6.2. Представляет информацию химического содержания с учетом требований библиографической культуры</p>	<p>Уметь: представлять результаты своей научной работы в письменном виде согласно требованиям к курсовым работам в соответствующей области химии</p>

	ОПК-6.3. Готовит презентацию по теме работы и представляет ее на русском и/или английском языках	Владеть: навыками подготовки презентаций с результатами своей научной работы на русском языке
--	---	--

4. Объем дисциплины (модуля) составляет **13** зачетных единиц, всего **468** часов, из которых **298** часов составляет контактная работа студента с преподавателем (**122** часа - занятия лекционного типа, **88** часов - занятия семинарского типа, **72** часа – лабораторные работы, **6** часов – групповые консультации, **10** часов - мероприятия промежуточной аттестации), **170** часов составляет самостоятельная работа учащегося. Электронное обучение и дистанционные образовательные технологии в преподавании не используются.

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

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Лабораторные работы	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка к текущей аттестации	Всего
Тема 1. Теоретические основы химической термодинамики	48	20	12	12			44			4
Тема 2. Термодинамика растворов	44	16	12	12			40			4

Тема 3. Фазовые (гетерогенные) и химические равновесия	46	18	12	12			42			4
Тема 4. Формальная кинетика химических реакций	48	18	14	12			44			4
Тема 5. Приложения химической кинетики: Кинетика реакций конкретного типа.	38	10	12	12			34			4
Тема 6. Кинетика каталитических реакций.	34	8	10	12			30			4
Тема 7. Статистическая термодинамика	26	16	8	-			24			2
Тема 8. Теории кинетики	26	16	8	-			24			2
Курсовая работа	72									72
Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>	86				6	10	16			70
Итого	468	122	88	72	6	10	298			170

Содержание разделов

Тема 1. Основные понятия и структура термодинамики. Постулаты о равновесии, о температуре и об аддитивности. 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. 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. Термодинамические модели растворов. Основные положения теории Аррениуса. Особенности описания растворов электролитов. Уравнение Дебая-Хюккеля. Активность, способы ее определения. Коллигативные свойства растворов.

Тема 3. Уравнение Клаузиуса-Клапейрона. Фазовые переходы в однокомпонентных системах, градация. 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. Законы Гиббса-Коновалова. Зависимость растворимости от давления. Уравнение Планка-ван Лаара. Мембранные равновесия. Осмос. Изотерма химической реакции. Константа равновесия. Уравнение изохоры и изобары реакции. Влияние среды на химическое равновесие. Расчет равновесного состава. Общие представления о равновесии при наличии дополнительных видов работы.

Тема 4. Элементарные (простые) реакции, сложные реакции. Механизм реакции. Определение скорости реакции. Кинетический закон действия масс и область его применимости. Молекулярность элементарных реакций. Порядок реакции для обработки экспериментальных данных (сложных реакций). Прямая и обратная задачи химической кинетики. Дифференциальная и интегральная формы кинетических уравнений. Методы экспериментального определения порядка реакции и константы скорости. Дифференциальные и интегральные методы, преимущества и ограничения каждого метода. Зависимость константы скорости от температуры. Уравнение Вант-Гоффа, уравнение Аррениуса. Методы определения энергии активации. Политермическая кинетика: основная идея методов. Эффективная энергия активации. Энергия активации сложных реакций. Сложные реакции: кинетическая модель, принцип независимости элементарных стадий. Энергия активации (экспериментальная) сложных реакций. Лимитирующая стадия сложных реакций. Обратимые реакции первого порядка: кинетические уравнения, решение прямой задачи, кинетические кривые для различных значений констант скоростей прямой и обратной реакций, лимитирующая стадия. Параллельные реакции первого порядка. Варианты решения обратной кинетической задачи. Энергия активации для параллельных реакций. Лимитирующая стадия. Термодинамический и кинетический контроль в параллельных обратимых реакциях. Последовательные реакции первого порядка: кинетическая схема и решение прямой и обратной кинетической задачи. Приближенные решения. Приближенные методы химической кинетики: метод квазистационарности и метод квазиравновесия, условия их применимости.

Тема 5. Цепные реакции (ЦР). Определение ЦР. Кинетические особенности. Основные стадии ЦР. Кинетическая схема неразветвленной ЦР. Стационарный режим протекания ЦР, длина цепи. Разветвленные ЦР. Принцип частичной квазистационарности Н.Н.Семенова. (на

примере реакции $H_2 + O_2$). Фотохимические реакции (ФР): Определение (энергетическая шкала электромагнитного излучения), особенности протекания ФР. Основные законы фотохимии. Диаграмма Яблонского. Кинетические схемы и решения кинетической задачи – уравнения Штерна-Фольмера. Понятия флуоресценции и фосфоресценции, временные характеристики. Кинетика распада возбужденного синглетного состояния. Квантовый выход. Тушение. Реакции в растворах (РР): кинетические особенности реакций Диффузия, законы Фика. Бимолекулярные реакции с диффузионным контролем. Уравнения Смолуховского, Стокса-Эйнштейна и Дебая. Температурная зависимость константы скорости реакций с учетом диффузии. Влияние растворителя: эффект клетки, природа (полярность) растворителя. Реакции с участием ионов, уравнения Бренстеда-Бьеррума, солевые эффекты. Реакции в открытых системах: Общая постановка задачи. Реакторы идеального смешения (РИС) и идеального вытеснения (РИВ). Сопряженные реакции (химическое, термодинамическое и кинетическое сопряжение), колебательные реакции, автокатализ. Качественное рассмотрение модели Лотки-Вольтерра. Понятие о фазовом портрете. Модель «брюсселятор» реакции Белоусова-Жаботинского.

Тема 6. Общее представление о каталитических реакциях: Основные принципы катализа, классификация каталитических реакций, характеристики катализаторов. Гомогенный (кислотно-основной) катализ: общая кинетическая схема. Кинетическая схема специфического кислотного катализа. Анализ кинетических кривых, решение обратной задачи для специфического кислотного и общего кислотного катализа. Солевые эффекты. Корреляционные соотношения Бренстеда. Гетерогенный катализ: общая характеристика, основные стадии. Общая кинетическая схема (в отсутствие диффузии). Кинетика Ленгмюра-Хиншельвуда для описания механизмов гетерогенной каталитической реакции на примере реакции первого порядка. Анализ кинетических уравнений. Бимолекулярные реакции на поверхности: механизмы Ленгмюра-Хиншельвуда и Ридила-Или. Кинетические схемы и анализ кинетических кривых. Ферментативный катализ: общая характеристика. Количественные характеристики каталитической активности и эффективности ферментов. Схема Михаэлиса-Ментен и линеаризация уравнения Михаэлиса-Ментен. Усложненные схемы ферментативных реакций: постановка задачи, запись системы кинетических уравнений, решение и анализ. Ингибирование ферментативных реакций. Диффузионные режимы в каталитических реакциях. Теоретические подходы решения кинетических задач. Теоретические подходы к задачам гетерогенного катализа: принцип Сабатье, мультиплетная теория Баландина (принцип геометрического соответствия и энергетического соответствия), теория активных ансамблей Кобозева. Энергетические диаграммы и механизмы реакций.

Тема 7. Термодинамические переменные как статистические средние величины. Основные понятия статистической физики. Ансамбли систем. Среднее по времени и среднее по ансамблю. Закон распределения Максвелла-Больцмана. Каноническое распределение Гиббса. Сумма по состояниям. Выражение для статистических аналогов термодинамических величин с помощью сумм по состояниям. Общие свойства канонической суммы по состояниям как статистической характеристической функции. Вычисление внутренней энергии, энергии Гельмгольца, энергии Гиббса и энтропии с помощью сумм по состояниям. Сумма по состояниям в целом и ее составляющие. Метод наибольшего слагаемого в сумме по состояниям. Формула Больцмана для энтропии. Поступательная сумма по состояниям. Теорема равнораспределения и ее применение в теории теплоемкостей. Энтропия одноатомного идеального газа. Формула Закура-Тетроде. Поступательные вклады в термодинамические функции идеальных газов. Парадокс Гиббса и его трактовка в статистической физике. Колебательная сумма по состояниям. Модель «гармонический осциллятор» – «жесткий ротатор». Сумма по состояниям для гармонического осциллятора. Колебательные вклады в термодинамические функции газов и «замороженные» степени свободы..

Вращательные функции по состояниям. Сумма по состояниям для жесткого ротатора. Вращательные составляющие термодинамических функций идеальных газов. Электронная сумма по состояниям и ее свойства. Статистический расчет химического равновесия в идеальных газах. Статистическое выражение для констант химического равновесия.

Тема 8. Поверхности потенциальной энергии (ППЭ) для элементарных актов химических превращений, например, для трех атомов водорода. Определение пути реакции, энергетического барьера. Понятие активированного комплекса (или переходного состояния). Координата реакции. Динамика элементарного акта реакции как перемещение по ППЭ. Теория активированного комплекса (переходного состояния) – ТАК. Истинная энергия активации элементарной реакции, энергия активации на ППЭ. Статистический вывод основного уравнения ТАК. Интерпретация стерического множителя. Опытная и истинная энергии активации и их взаимосвязь. Термодинамический аспект основного уравнения теории активированного комплекса (переходного состояния). Определение скорости реакции в общем виде и запись основного соотношения. Свободная энергия и энтропия активации. Интерпретация стерического множителя для газовых и жидкофазных реакций. Теория активных соударений для бимолекулярных реакций. Фактор соударений. Стерический множитель. Сечение соударения. Энергия активации. Константы скорости бимолекулярных процессов. Расчеты константы скорости по теории активированного комплекса и теории активных соударений. «Медленные» реакции и расчеты стерического множителя. Неадиабатические реакции. Гарпунные реакции. Бимолекулярные реакции в растворах, их стерические множители и энергии активации. Мономолекулярные реакции. «Компенсационный эффект». Применение теории активированного комплекса и теории активных соударений к описанию мономолекулярных реакций. Кинетические особенности мономолекулярных реакций и их описание схемой Линдемана. Поправка Хиншельвуда, поправка Касселя. Тримолекулярные реакции. «Истинные» тримолекулярные процессы и реакции третьего порядка. Тримолекулярные реакции и их свойства. Реакции третьего порядка без тримолекулярных стадий. Отрицательный температурный коэффициент и его различные объяснения.

6. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и вспомогательной учебной литературы ко всему курсу

Основная литература

1. Еремин В.В. с соавт. Основы физической химии. Теория и задачи. Издания 2005, 2013 и 2018 гг.
2. Эткинс П., де Паула Дж. Физическая химия. Москва. Мир. 2007
3. Романовский Б.В. Основы химической кинетики. Москва. Экзамен. 2006
4. Романовский Б.В. Основы катализа. Москва. Бинوم. 2015

Дополнительная литература

5. Еремин Е.Н., Основы химической термодинамики. М.: Высшая школа, 1974
6. Полторак О.М. Термодинамика в физической химии. М.: Высшая школа 1991
7. Морачевский А.С., Кохацкая М.С. Прикладная химическая термодинамика. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2008

8. Пригожин И., Дефей Р., Химическая термодинамика. Новосибирск, 1966
9. Мюнстер А., Химическая термодинамика, М.: Мир, 1971
10. Смирнова Н.А. Методы статистической термодинамики в физической химии. М.: Высшая школа. Издания 1973, 1982 гг.
11. Эмануэль Н.М., Кнорре Д.Г. Курс химической кинетики. М.: Высшая школа., 1984
12. Стромберг А.Г, Семченко Д.П. Физическая химия. Издания 1999 и 2006

7. Язык преподавания – русский

8. Разработчики:

Луконина Н.С., кандидат химических наук, доцент кафедры физической химии МГУ

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