

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова**

Институт фундаментальной и прикладной химии

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета биологии и экологии



О.А. Маракаев  
«19» мая 2023 г.

**Рабочая программа**  
**«Физическая химия»**

Направление подготовки  
04.03.01 Химия

Направленность (профиль)  
«Медицинская и фармацевтическая химия»

Форма обучения  
очная

Программа одобрена  
на заседании института  
протокол № 7 от «17» апреля 2023 года

Программа одобрена  
НМК факультета биологии и экологии  
протокол № 8 от «28» апреля 2023 года

Ярославль

### 1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является изучение и объяснение основных закономерностей, определяющих направленность химических процессов, скорость их протекания, влияние на них среды, примесей, излучения и т.п., условия получения максимального выхода необходимых продуктов, а также связь между строением вещества и его реакционной способностью.

### 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Физическая химия» относится к обязательной части блока 1 дисциплин учебного плана (код в учебном плане Б1.О.10).

Для освоения данной дисциплины студенты должны владеть основами аппарата высшей математики, знать основы дисциплин «Неорганическая химия», «Аналитическая химия», «Органическая химия», «Физико-химические методы анализа».

Знания и навыки, полученные при изучении дисциплины, необходимы для изучения последующих дисциплин «Химическая технология», «Высокомолекулярные соединения», «Физико-химические основы создания лекарственных препаратов», «Кинетика биологических процессов и ферментативный катализ», «Компьютерное моделирование термодинамики и кинетики процессов в живых системах», выполнения выпускной квалификационной работы, в научно-исследовательской деятельности.

### 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
<b>Универсальные компетенции</b>		
<b>УК-1</b> Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.	<b>УК-1.1</b> Осуществляет системный анализ задачи, выделяя ее базовые составляющие.	<b>Знать:</b> – основные методы и подходы физической химии, используемые для решения задач в различных областях химии. <b>Уметь:</b> – при решении задач аргументировать этапы решения, проводить защиту выполненной работы (проекта). <b>Владеть навыками:</b> – применения аппарата физической химии для решения задач в смежных химических дисциплинах.
<b>УК-2</b> Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений.	<b>УК-2.1</b> Определяет круг задач в рамках поставленной цели, определяет связи между ними.	<b>Знать:</b> – основные задачи физической химии. <b>Уметь:</b> – выделять отдельные задачи для достижения поставленной цели в рамках лабораторной работы и определять порядок их решения. <b>Владеть навыками:</b> – планирования физико-химического эксперимента.

	<p><b>УК-2.2</b> Предлагает способы решения поставленных задач и ожидаемые результаты; оценивает предложенные способы с точки зрения соответствия цели проекта.</p>	<p><b>Знать:</b> – основные методы и подходы, используемые для решения задач в физической химии. <b>Уметь:</b> – составлять алгоритм решения задачи (выполнения проекта), используя теоретические познания и примеры решения аналогичных задач. <b>Владеть навыками:</b> – критической оценки результатов решения задач (выполнения проекта, лабораторной работы), определения возможных ошибок и путей их устранения.</p>
<p><b>УК-8</b> Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций.</p>	<p><b>УК-8.3</b> Выявляет проблемы, связанные с нарушениями техники безопасности на рабочем месте; предлагает мероприятия по предотвращению чрезвычайных ситуаций.</p>	<p><b>Знать:</b> – нормы ТБ при проведении химического эксперимента; – основные категории опасных веществ. <b>Уметь:</b> – определять опасность веществ и выбирать приемы работы с ними. <b>Владеть навыками:</b> – работы с химическими реактивами различных классов опасности с учетом их индивидуальных особенностей.</p>
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>		
<p><b>ОПК-1</b> Способен анализировать и интерпретировать результаты химических экспериментов, наблюдений и измерений.</p>	<p><b>ОПК-1.1</b> Систематизирует и анализирует результаты химических экспериментов, наблюдений, измерений, а также результаты расчетов свойств веществ и материалов.</p>	<p><b>Знать:</b> – основные методы экспериментального определения физико-химических величин. <b>Уметь:</b> – выбирать подходящие методы для экспериментального определения физико-химических величин, сопоставляя преимущества и недостатки различных методов. <b>Владеть навыками:</b> – обработки и представления результатов эксперимента в заданной форме предлагаемой методике; – систематизации и анализа результатов измерений физико-химических величин.</p>
	<p><b>ОПК-1.2</b> Предлагает интерпретацию результатов собственных экспериментов и расчетно-теоретических работ с использованием теоретических основ традиционных и новых разделов химии.</p>	<p><b>Знать:</b> – основные понятия и законы физической химии. <b>Уметь:</b> – интерпретировать результаты эксперимента по измерению физико-химических величин. <b>Владеть навыками:</b> – проведения термодинамических расчетов и интерпретации их результатов.</p>

	<p><b>ОПК-1.3</b>          Формулирует заключения и выводы по результатам анализа литературных данных, собственных экспериментальных и расчетно-теоретических работ химической направленности.</p>	<p><b>Знать:</b>          – основные понятия и законы физической химии.  <b>Уметь:</b>          – проводить самостоятельный поиск химической информации с использованием различных источников.  <b>Владеть навыками:</b>          – формулировки выводов по результатам эксперимента и анализа литературных данных.</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>ОПК-2.1</b>          Работает с химическими веществами с соблюдением норм техники безопасности.</p>	<p><b>Знать:</b>          – методы планирования эксперимента в физической химии;          – основные правила и приемы работы с аналитическим оборудованием.  <b>Уметь:</b>          – планировать и проводить эксперимент с соблюдением требований ТБ;          – работать с компьютеризированным лабораторным оборудованием, на котором выполняется лабораторный практикум.  <b>Владеть навыками:</b>          – планирования, анализа и обобщения результатов эксперимента.</p>
	<p><b>ОПК-2.3</b>          Проводит стандартные операции для определения химического и фазового состава веществ и материалов на их основе.</p>	<p><b>Знать:</b>          – теоретические основы фазового равновесия в одно- и многокомпонентных системах.  <b>Уметь:</b>          – проводить эксперименты по исследованию фазовых переходов с применением методов термического анализа, дистилляции и пр.  <b>Владеть навыками:</b>          – обработки и систематизации результатов экспериментов по исследованию фазовых переходов с построением фазовых диаграмм и их последующим анализом.</p>
	<p><b>ОПК-2.4</b>          Проводит исследования свойств веществ и материалов с использованием серийного научного оборудования.</p>	<p><b>Знать:</b>          – теоретические основы физико-химических методов определения свойств веществ.  <b>Уметь:</b>          – применять физико-химические методы для определения физико-химических свойств веществ (константы диссоциации, произведения растворимости);          – применять физико-химические методы для определения термодинамических и кинетических характеристик процессов.  <b>Владеть навыками:</b>          – работы на лабораторном оборудовании (калориметр, кондуктометр, потенциометр, кулонометр и т.п.).</p>

<p><b>ОПК-3</b> Способен применять расчетно-теоретические методы для изучения свойств веществ и процессов с их участием с использованием современной вычислительной техники.</p>	<p><b>ОПК-3.1</b> Применяет теоретические и полуэмпирические модели при решении задач химической направленности.</p>	<p><b>Знать:</b> – теоретические основы физической химии и способы их использования при решении конкретных химических задач; – основные понятия и законы физической химии. <b>Уметь:</b> – осуществлять вывод основных уравнений физической химии. <b>Владеть навыками:</b> – применения основных законов и уравнений физической химии при решении задач.</p>
	<p><b>ОПК-3.2</b> Использует стандартное программное обеспечение при решении задач химической направленности.</p>	<p><b>Знать:</b> – области применения стандартного программного обеспечения при решении физико-химических задач. <b>Уметь:</b> – проводить серийные расчеты физико-химических свойств с применением стандартного программного обеспечения (электронных таблиц). <b>Владеть навыками:</b> – обработки результатов экспериментов с применением стандартного программного обеспечения (электронных таблиц).</p>
<p><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.</p>	<p><b>ОПК-4.2</b> Обрабатывает данные с использованием стандартных способов аппроксимации численных характеристик.</p>	<p><b>Знать:</b> – методы приведения нелинейных зависимостей к линейному виду. <b>Уметь:</b> – проводить линеаризацию экспериментальных данных и определять неизвестные величины графическим методом. <b>Владеть навыками:</b> – расчета погрешностей экспериментально измеренных величин.</p>
	<p><b>ОПК-4.3</b> Интерпретирует результаты химических наблюдений с использованием физических законов и представлений.</p>	<p><b>Знать:</b> – основные законы физической химии и их математические выражения. <b>Уметь:</b> – применять базовые законы физики и физической химии для объяснения закономерностей химических процессов, в том числе в смежных химических дисциплинах. <b>Владеть навыками:</b> – интерпретации результатов химических экспериментов с использованием физических законов и представлений.</p>

<p><b>ОПК-5</b> Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности.</p>	<p><b>ОПК-5.1</b> Использует современные IT-технологии при сборе, анализе, обработке и представлении информации химического профиля.</p>	<p><b>Знать:</b> – основные источники научно-технической информации в области физической химии (базы данных, базы научных статей). <b>Уметь:</b> – осуществлять поиск информации по заданной тематике в различных онлайн-сервисах с соблюдением норм информационной безопасности. <b>Владеть навыками:</b> – работы и поиска информации в специализированных информационных базах данных.</p>
<p><b>ОПК-6</b> Способен представлять результаты своей работы в устной и письменной форме в соответствии с нормами и правилами, принятыми в профессиональном сообществе.</p>	<p><b>ОПК-6.1</b> Представляет результаты работы в виде отчета по стандартной форме на русском языке.</p>	<p><b>Знать:</b> – основные требования к оформлению научных работ, докладов, отчетов по лабораторным работам. <b>Уметь:</b> – представлять результаты выполнения лабораторной работы (расчетного задания) в виде отчета по заданной форме; – аргументировать сделанные выводы в процессе защиты лабораторной работы. <b>Владеть навыками:</b> – участия в научных дискуссиях.</p>

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 18 зачетных единиц, 648 акад.ч.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)					Формы текущего контроля успеваемости		Формы промежуточной аттестации (по семестрам)	Формы ЭО и ДОТ (при наличии)
			Контактная работа					самостоятельная работа			
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания				
1	Введение. Идеальные и реальные газы.	5	6	6		2		16		Опрос, тест, решение задач с вводом ответа, контрольная работа №1	
	<i>в том числе с ЭО и ДОТ</i>					1		4		Тест по теме "Идеальные и реальные газы". Решение задач с вводом ответа по теме "Идеальные и реальные газы" <i>ЭУК в LMS Moodle</i>	
2	Химическая термодинамика.	5	16	16	42	6		42		Опрос, тесты, решение задач с вводом ответа, расчетное задание, коллоквиум, контрольная работа №2, отчеты по лабораторным работам	
	<i>в том числе с ЭО и ДОТ</i>					3		14		Тест по темам "Начала термодинамики, термохимия" Решение задач с вводом ответа по темам "Начала термодинамики, термохимия" Тест по теме "Химическое равновесие" Решение задач с вводом ответа по теме "Химическое равновесие" Расчетное задание по термодинамике Экспресс-тест по термодинамике <i>ЭУК в LMS Moodle</i>	
3	Фазовые равновесия и растворы.	5	14	14	66	6		36		Опрос, тесты, решение задач с вводом ответа, расчетное задание, коллоквиум, контрольная работа №3, отчеты по лабораторным работам	
	<i>в том числе с ЭО и ДОТ</i>					3		12		Тест по темам "Фазовое равновесие в однокомпонентных системах. Растворы неэлектролитов" Решение задач с вводом ответа по темам "Фазовое равновесие в однокомпонентных системах. Растворы неэлектролитов" Расчетное задание "Построение и анализ диаграммы кипения" Задание с вводом ответов "Анализ фазовых диаграмм" <i>ЭУК в LMS Moodle</i>	
						2	0,5	33,5		Экзамен	
	<b>Итого за 5 семестр</b>		<b>36</b>	<b>36</b>	<b>108</b>	<b>16</b>	<b>0,5</b>	<b>127,5</b>			
	<i>в том числе с ЭО и ДОТ</i>					7		30			

4	Электрохимия.	6	12	12	66	6		34	Опрос, тесты, решение задач с вводом ответа, коллоквиум, контрольная работа №4, отчеты по лабораторным работам
	<i>в том числе с ЭО и ДОТ</i>					3		12	Тест по темам "Растворы электролитов. Электропроводность" Решение задач с вводом ответа по темам "Растворы электролитов. Электропроводность" Тест по темам "Электродвижущие силы и гальванические элементы" Решение задач с вводом ответа по темам "Электродвижущие силы и гальванические элементы" <i>ЭУК в LMS Moodle</i>
5	Кинетика химических реакций.	6	24	24	42	8		60	Опрос, тесты, решение задач с вводом ответа, семинар, коллоквиум, контрольная работа №5, отчеты по лабораторным работам
	<i>в том числе с ЭО и ДОТ</i>					4		32	Тест по темам "Основные понятия кинетики. Формальная кинетика" Задачи с вводом ответа по теме "Кинетика реакций 1 и 2 порядка" Тест по теме "Влияние температуры на скорость химических реакций" Задачи с вводом ответа по теме "Влияние температуры на скорость химических реакций" Тест по теме "Кинетика сложных реакций" Задачи с вводом ответа по теме "Кинетика сложных реакций" Комбинированный тест по теме "Анализ сложных кинетических схем" Семинар по темам "Приближенные методы химической кинетики. Цепные реакции" Тест по темам "Цепные реакции. Разветвленные цепные реакции" Тест по теме "Теории скоростей элементарных реакций" Задачи с вводом ответа по теме "Теории скоростей элементарных реакций" Тест по теме "Влияние среды на скорость химических реакций" Тест по теме "Кинетика фотохимических реакций" Тест по теме "Катализ", Задачи с вводом ответа по теме "Катализ" <i>ЭУК в LMS Moodle</i>
						2	0,5	33,5	Экзамен
	<b>Итого за 6 семестр</b>		<b>36</b>	<b>36</b>	<b>108</b>	<b>16</b>	<b>0,5</b>	<b>127,5</b>	
	<i>в том числе с ЭО и ДОТ</i>					7		44	
	<b>ИТОГО</b>		<b>72</b>	<b>72</b>	<b>216</b>	<b>32</b>	<b>1,0</b>	<b>255</b>	
	<i>в том числе с ЭО и ДОТ</i>					14		74	



#### 4.1 Информация о реализации дисциплины в форме практической подготовки

##### Информация о разделах дисциплины и видах учебных занятий, реализуемых в форме практической подготовки

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Место проведения занятий в форме практической подготовки
			Контактная работа					самостоятельная работа	
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания		
1	Введение. Идеальные и реальные газы.	5		6					Факультет биологии и экологии ЯрГУ
2	Химическая термодинамика.	5		16	42				Факультет биологии и экологии ЯрГУ
3	Фазовые равновесия и растворы.	5		14	66				Факультет биологии и экологии ЯрГУ
4	Электрохимия.	6		12	66				Факультет биологии и экологии ЯрГУ
5	Кинетика химических реакций.	6		24	42				Факультет биологии и экологии ЯрГУ
	<b>ИТОГО</b>			<b>72</b>	<b>216</b>				

#### Содержание разделов дисциплины

##### 1. Введение. Идеальные и реальные газы.

- 1.1. Введение. Цели и задачи дисциплины. Место физической химии в современной науке.
- 1.2. Применение молекулярно-кинетической теории газов. Законы идеальных газов. Уравнение состояния идеального газа.
- 1.3. Газовые смеси. Законы Дальтона и Амага.
- 1.4. Уравнение состояния реальных газов. Теоретический расчет параметров состояния реальных газов. Уравнения Ван-дер-Ваальса. Критическое состояние, приведенные параметры. Расчеты с помощью коэффициента сжимаемости.

##### 2. Химическая термодинамика

- 2.1. Понятие об изолированной, неизолированной и открытой системах. Типы термодинамических процессов. Теплота, работа, внутренняя энергия. Работа расширения идеального газа.
- 2.2. Первое начало термодинамики, его математическое выражение для круговых и некруговых процессов. Внутренняя энергия и энтальпия.
- 2.3. Термохимия. Закон Гесса и следствие из него. Расчеты тепловых эффектов по теплотам образования и сгорания.
- 2.4. Тепловые эффекты физико-химических процессов. Влияние температуры на тепловой эффект. Закон Кирхгоффа. Методы расчета теплоемкости.
- 2.5. Второе начало термодинамики. Термодинамическая вероятность. Статистическая природа второго начала.

- 2.6. Характеристические функции. Изолированные системы. Энтропия. Связь энтропии с термодинамической вероятностью.
- 2.7. Неизолированные системы. Свободная энергия Гельмгольца и свободная энергия Гиббса. Максимально полезная работа.
- 2.8. Химический потенциал. Выражение условий равновесия систем через химический потенциал. Понятие о парциальных мольных величинах. Соотношение между свободной энергией Гиббса и химическим потенциалом.
- 2.9. Зависимость свободной энергии Гиббса и свободной энергии Гельмгольца от внешних параметров. Уравнение Гиббса-Гельмгольца в дифференциальной и интегральной формах. Метод Темкина-Швармана.
- 2.10. Уравнение изотермы Вант-Гоффа для гомогенных и гетерогенных систем. Разные способы выражения константы равновесия. Уравнение изобары. Принцип Ле-Шателье.
- 2.11. Третье начало термодинамики. Тепловая теорема Нернста. Постулат Планка.
- 2.12. Расчет равновесия в неидеальной газовой системе. Летучесть и активность. Уравнение степени полноты химической реакции.
- Лабораторная работа № 1. Определение интегральной теплоты растворения солей.
- Лабораторная работа № 2. Определение интегральной теплоты растворения и теплоты гидратации сульфата меди.
- Лабораторная работа № 3. Определение теплоты нейтрализации сильной кислоты сильным основанием и теплоты диссоциации слабой кислоты.
- Лабораторная работа № 4. Определение теплового эффекта растворения металла в кислоте.
- Лабораторная работа № 5. Определение константы равновесия химической реакции.
- Лабораторная работа № 6. Исследование влияния внешних факторов на смещение химического равновесия.

### **3. Фазовые равновесия и растворы**

- 3.1. Фазовые равновесия и растворы. Общая характеристика. Условия равновесия фаз. Правило фаз Гиббса и его применение к двух- и трехкомпонентным системам.
- 3.2. Фазовое равновесие в однокомпонентных системах. Фазовые переходы первого и второго рода. Диаграммы состояния воды и серы. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.
- 3.3. Термодинамическая теория разбавленных растворов неэлектролитов (теория Вант-Гоффа). Свойства разбавленных растворов: осмос, криоскопия, эбулиоскопия. Закон Рауля.
- 3.4. Идеальные и неидеальные концентрированные растворы. Равновесие жидкость-пар и перегонка бинарных систем. Законы Коновалова. Азеотропы. Дистилляция и ректификация.
- 3.5. Давление насыщенного пара в системах с ограниченной растворимостью компонентов. Перегонка с водяным паром.
- 3.6. Равновесие жидкость-жидкость в двухкомпонентных системах. Влияние температуры на взаимную растворимость.
- 3.7. Равновесие газ-жидкость в двухкомпонентных системах. Растворимость газов. Закон Генри.
- 3.8. Равновесие кристаллы – жидкий раствор в двухкомпонентных системах. Диаграммы плавкости. Эвтектические смеси. Термический анализ.
- 3.9. Фазовое равновесие в трехкомпонентных системах. Экстракция. Закон распределения.
- 3.10. Структура конденсированного состояния. Межмолекулярное взаимодействие. Дальнодействующие и короткодействующие силы. Донорно-акцепторное взаимодействие. Водородная связь.
- Лабораторная работа № 7. Изучение зависимости температуры кипения жидкости от давления.
- Лабораторная работа № 8. Термический анализ.
- Лабораторная работа № 9. Исследование перегонки бинарных растворов.

Лабораторная работа № 10. Изучение взаимной растворимости жидкостей в бинарной системе.

Лабораторная работа № 11. Изучение взаимной растворимости жидкостей в трехкомпонентной системе.

Лабораторная работа № 12. Определение коэффициента распределения.

Лабораторная работа № 13. Определение теплоты кристаллизации воды.

Лабораторная работа № 14. Определение молярной массы вещества методом криоскопии.

#### **4. Электрохимия**

4.1. Электрохимия. Равновесие в разбавленных растворах слабых электролитов. Теория Аррениуса. Причины и механизм электролитической диссоциации.

4.2. Равновесие в растворах электролитов. Ион-дипольное взаимодействие. Расчеты теплоты сольватации электролита и отдельных ионов.

4.3. Сильные электролиты. Закон постоянства теплот нейтрализации кислот и оснований. Термодинамическая теория разбавленных растворов сильных электролитов. Средняя ионная активность и коэффициент активности.

4.4. Электропроводность. Абсолютная скорость движения ионов, подвижность, число переноса. Удельная и молярная электропроводность. Закон Кольрауша.

4.5. Теория Дебая-Онзагера. Электрофоретический и релаксационный эффекты. Эффекты Дебая-Фалькенгагена и Вина.

4.6. Экспериментальное измерение электропроводности. Кондуктометрия. Кондуктометрическое определение констант диссоциации и произведений растворимости. Кондуктометрическое титрование.

4.7. Электрохимия гетерогенных систем. Типы скачков потенциалов на границах фаз. Диффузионный потенциал. Возникновение двойного электрического слоя.

4.8. Гальванический элемент, его устройство на примере элемента Якоби-Даниэля. Обратимые и необратимые элементы.

4.9. Классификация электродов. Расчет потенциала отдельного электрода по уравнению Нернста. Расчет ЭДС по уравнению Нернста.

4.10 Потенциометрия. Измерение pH. Расчет произведения растворимости. Максимальная работа и константа равновесия для процессов в гальваническом элементе. Расчет коэффициента активности. Потенциометрическое титрование.

4.11 Практическое значение электродных процессов. Применение теории электрохимических систем к изучению равновесия в растворах. Химические источники тока. Электролиз. Коррозия металлов и методы защиты от неё.

Лабораторная работа № 15. Определение константы и степени диссоциации слабой кислоты методом кондуктометрии.

Лабораторная работа № 16. Определение произведения растворимости малорастворимой соли методом кондуктометрии.

Лабораторная работа № 17. Определение константы диссоциации слабой кислоты методом потенциометрии.

Лабораторная работа № 18. Определение произведения растворимости малорастворимой соли методом потенциометрии.

Лабораторная работа № 19. Определение чисел переноса методом движущейся границы.

Лабораторная работа № 20. Электролиз. Закон Фарадея.

Лабораторная работа № 21. Гальванические элементы. Уравнение Нернста

Лабораторная работа № 22. Определение среднего ионного коэффициента активности методом потенциометрии.

Лабораторная работа № 23. Определение pH водных растворов.

#### **5. Кинетика химических реакций**

5.1. Задачи химической кинетики. Основные понятия. Кинетическая классификация химических реакций.

- 5.2. Скорость химической реакции. Закон действия масс. Константа скорости, порядок, молекулярность.
- 5.3. Простые реакции. Кинетические уравнения реакций первого-третьего порядков. Периоды полупревращения. Кинетические уравнения «n-го» порядка. Кинетика реакций нулевого порядка.
- 5.4. Методы определения порядка реакции и расчета константы скорости.
- 5.5. Влияние температуры на скорость химической реакции. Правило Вант-Гоффа. Уравнение Аррениуса в дифференциальной и интегральной формах. Понятие об энергии активации.
- 5.6. Кинетика сложных реакций. Параллельные, обратимые и последовательные реакции. Кинетика сопряженных реакций.
- 5.7. Расчет кинетики сложных реакций по методу квазистационарных концентраций Боденштейна-Семенова.
- 5.8 Цепные реакции. Общая характеристика и кинетические особенности неразветвленных и разветвленных цепных реакций. Цепной и тепловой взрыв.
- 5.9. Теория активных соударений. Модель элементарного акта взаимодействия. Стерический фактор. Источники активации. Кинетика мономолекулярных реакций. Схема Линдемана.
- 5.10. Теория активированного комплекса (ТАК). Поверхность потенциальной энергии. Расчет константы скорости по ТАК. Термодинамический аспект ТАК. Физический смысл предэкспоненциального множителя. Мономолекулярные и тримолекулярные реакции в ТАК
- 5.11. Фотохимические реакции. Элементарный акт фотохимических процессов. Кинетика фотохимической реакции. Квантовый выход.
- 5.12. Кинетика реакций в растворах. Влияние среды на константу скорости в гомолитических и гетеролитических реакциях.
- 5.13. Катализ. Основные типы гомогенного и гетерогенного катализа. Ферментативный катализ.
- Лабораторная работа № 24. Исследование кинетики щелочного гидролиза этилацетата в растворе.
- Лабораторная работа № 25. Исследование кинетики гомогенной каталитической реакции окисления иодид-иона пероксидом водорода.
- Лабораторная работа № 26. Исследование кинетики разложения пероксида водорода газометрическим методом
- Лабораторная работа № 27. Исследование кинетики цепной реакции окисления стирола.
- Лабораторная работа № 28. Исследование кинетики разложения мочевины методом кондуктометрии.

## **5. Образовательные технологии, в том числе технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

**Вводная лекция** – дает первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

**Академическая лекция** (или лекция общего курса) – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя с

применением мультимедийных презентаций. Требования к академической лекции: современный научный уровень и насыщенная информативность, убедительная аргументация, доступная и понятная речь, четкая структура и логика, наличие ярких примеров, научных доказательств, обоснований, фактов.

**Практическое занятие** – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков и закреплению полученных на лекции знаний.

**Лабораторное занятие** – выполнение лабораторной работы обеспечивает закрепление полученных теоретических знаний, обеспечивает освоение навыков самостоятельной работы. Формулировка выводов по полученным результатам учит умению анализировать и обобщать полученные в результате эксперимента данные, развивает логическое мышление.

**Консультации** – вид учебных занятий, являющийся одной из форм контроля самостоятельной работы студентов. На консультациях по просьбе студентов рассматриваются наиболее сложные моменты при освоении материала дисциплины, преподаватель отвечает на вопросы студентов, которые возникают у них в процессе самостоятельной работы.

В процессе обучения используются следующие технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии:

**Электронный учебный курс «Физическая химия» в LMS Электронный университет Moodle ЯрГУ**, в котором:

- представлены задания для самостоятельной работы обучающихся по темам дисциплины;
- осуществляется проведение отдельных мероприятий текущего контроля успеваемости студентов;
- представлены тексты лекций по всем темам дисциплины;
- представлены описания лабораторных работ;
- представлены правила прохождения промежуточной аттестации по дисциплине;
- представлен список учебной литературы, рекомендуемой для освоения дисциплины;
- представлена информация о форме и времени проведения консультаций по дисциплине в режиме онлайн;
- посредством форума осуществляется синхронное и (или) асинхронное взаимодействие между обучающимися и преподавателем в рамках изучения дисциплины;
- сохраняются оценки, полученные учащимися в процессе изучения курса, в том числе в очном режиме.

## **6. Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

При осуществлении образовательного процесса используются:

- операционные системы семейства Microsoft Windows;
- программы Microsoft Office;
- программа Adobe Acrobat Reader;
- браузеры Mozilla Firefox, Google Chrome.

## **7. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)**

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используются:

1. NIST Chemistry WebBook. <http://webbook.nist.gov/chemistry/>. База данных содержит информацию о термодинамических свойствах веществ, спектрах, константах двухатомных молекул и т.п.

2. NIST Chemical Kinetics Database. <https://kinetics.nist.gov/kinetics/>. База данных содержит информацию о константах скорости и энергиях активации элементарных реакций, протекающих в газовой фазе.
3. NIST Solution Kinetics Database. <https://kinetics.nist.gov/solution/>. База данных содержит информацию о константах скорости и энергиях активации элементарных реакций, протекающих в газовой фазе.
4. Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT»  
[http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php)

## **8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости), рекомендуемых для освоения дисциплины**

### **а) основная литература**

1. Казин, В.Н. Физическая химия : учебное пособие для вузов / В.Н. Казин, Е.М. Плисс, А.И. Русаков. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2021. – 182 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-11119-4. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. <https://urait.ru/bcode/475407>.
2. Физическая химия: метод. указания к лабораторному практикуму. / сост. А.М. Гробов, В.Н. Казин, Е.М. Плисс, А.В. Сирик, И.В. Тихонов; Яросл. гос. ун-т им. П.Г. Демидова, Науч.-метод. совет ун-та – Ярославль: ЯрГУ, 2010. – 103 с.  
<http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20100303.pdf>
3. Решение задач по физической химии: метод. указания. / сост. А.М. Гробов, Е.М. Плисс, А.В. Сирик, И.В. Тихонов; Яросл. гос. ун-т им. П.Г. Демидова, Науч.-метод. совет ун-та – Ярославль: ЯрГУ, 2010. – 45 с.  
<http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20100309.pdf>
4. Тихонов И.В. Химическая кинетика [Электронный ресурс]: практикум. / И.В. Тихонов, А.В. Сирик, А.М. Гробов; Яросл. гос. ун-т им. П.Г. Демидова – Ярославль: ЯрГУ, 2020. – 48 с. <http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20200303.pdf>

### **б) дополнительная литература**

1. Еремин В.В. Основы общей и физической химии: учеб. пособие для вузов. / В.В. Еремин, А.Я. Борщевский; УМО по классическому унив. образованию – Долгопрудный: Интеллект, 2012. – 847 с.  
[http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=1535304&cat\\_cd=YARSU](http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=1535304&cat_cd=YARSU)
2. Формальная кинетика: метод. указания. / сост. Е.М. Плисс, А.М. Гробов, А.В. Сирик, И.В. Тихонов, А.И. Русаков; Яросл. гос. ун-т им. П.Г. Демидова, Науч.-метод. совет ун-та – Ярославль: Б.и., 2009. – 54 с. <http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20090308.pdf>
3. Черепанов, В.А. Химическая кинетика : учебное пособие для вузов / В.А. Черепанов, Т.В. Аксенова. – Москва : Издательство Юрайт, 2021. – 130 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-10878-1. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. <https://urait.ru/bcode/493663>
4. Ипполитов Е.Г. Физическая химия: учебник для вузов. / Е.Г. Ипполитов, А.В. Артемов, В.В. Батраков; УМО по специальностям педагогического образования – М.: Академия, 2005. – 448 с.  
[http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_card.php?rec\\_id=352837&cat\\_cd=YARSU](http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=352837&cat_cd=YARSU)

### **в) ресурсы сети «Интернет» (при необходимости)**

1. NIST Chemistry WebBook (<http://webbook.nist.gov/chemistry/>)
2. Учебные материалы по физической химии электронной библиотеки химического факультета МГУ <http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/phys.html>:  
Еремин В.В., Каргов С.И., Кузьменко Н.Е. Задачи по физической химии. Часть 1. Химическая термодинамика  
(<http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/eremin1/welcome.html>)  
Еремин В.В., Каргов С.И., Кузьменко Н.Е. Задачи по физической химии. Часть II. Химическая кинетика. Электрохимия

<http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/eremin/welcome.html>)

Кубасов А.А. Химическая кинетика и катализ

<http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/kubasov/welcome.html>)

Семиохин И.А. Сборник задач по химической термодинамике (часть I)

<http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/semiochin/part1.pdf>)

Семиохин И.А. Сборник задач по химической термодинамике (часть II)

<http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/semiochin/part11.pdf>)

Семиохин И.А. Сборник задач по электрохимии

<http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/semiochin/elektrochimia/all.pdf>)

Семиохин И.А. Сборник задач по химической кинетике

<http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/semiochin/kinetika1/all.pdf>)

## **9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа;
- учебные аудитории для проведения лабораторных работ;
- учебные аудитории для проведения практических занятий (семинаров);
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций,
- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

Специальные помещения укомплектованы средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории (ноутбук и/или персональный компьютер, мультимедиа-проектор, настенный проекционный экран).

Для проведения занятий лекционного типа предлагаются наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, хранящиеся на электронных носителях и обеспечивающие тематические иллюстрации, соответствующие рабочей программе дисциплины.

Для проведения лабораторных работ используются: весы лабораторные, весы аналитические, учебно-лабораторный комплекс «Химия» (модуль "Универсальный контроллер" – 6 шт., модуль "Термический анализ" – 1 шт., модуль "Термостат" – 3 шт., модуль "Электрохимия" – 2 шт.), учебно-лабораторный комплекс «Физическая химия» (учебно-лабораторные модули "Кинетика", "Термодинамика", "Фазовое равновесие", "Электрохимия"), компьютеры.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

Число посадочных мест в лекционной аудитории больше либо равно списочному составу потока, а в аудитории для практических занятий (семинаров), лабораторных – списочному составу группы обучающихся.

Автор:

Доцент института  
фундаментальной и прикладной химии, к.х.н.



И.В. Тихонов

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины  
«Физическая химия»**

**Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости  
и промежуточной аттестации студентов по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания и иные материалы,  
используемые в процессе текущего контроля успеваемости**

**Задания для самостоятельной работы**

*(данные задания выполняются студентом самостоятельно  
и преподавателем в обязательном порядке не проверяются)*

**Задания по теме № 1 «Введение. Идеальные и реальные газы»**

1. Раздел 1.2. Разобрать пример № 1 (с. 4), решить задачи № 1-4 (с. 5) в методических указаниях «Решение задач по физической химии» (А.М. Гробов, Е.М. Плисс, А.В. Сирик, И.В. Тихонов / ЯрГУ, 2010)
2. Раздел 1.3. Разобрать пример № 2 (с. 4), решить задачи № 5, 6 (с. 5) в методических указаниях «Решение задач по физической химии» (А.М. Гробов, Е.М. Плисс, А.В. Сирик, И.В. Тихонов / ЯрГУ, 2010)
3. Раздел 1.4. Разобрать примеры № 3, 4 (с. 4), решить задачи № 7-12 (с. 6) в методических указаниях «Решение задач по физической химии» (А.М. Гробов, Е.М. Плисс, А.В. Сирик, И.В. Тихонов / ЯрГУ, 2010)

**Задания по теме № 2 «Химическая термодинамика»**

1. Разделы 2.1, 2.2. Разобрать пример № 1 (с. 9), решить задачи № 1-5 (с. 13) в методических указаниях «Решение задач по физической химии» (А.М. Гробов, Е.М. Плисс, А.В. Сирик, И.В. Тихонов / ЯрГУ, 2010)
2. Раздел 2.3. Разобрать примеры № 2, 3 (с. 10), решить задачи № 11-14 (с. 13) в методических указаниях «Решение задач по физической химии» (А.М. Гробов, Е.М. Плисс, А.В. Сирик, И.В. Тихонов / ЯрГУ, 2010)
3. Раздел 2.4. Разобрать примеры № 4, 5 (с. 11), решить задачи № 6-10, 15-18 (с. 13) в методических указаниях «Решение задач по физической химии» (А.М. Гробов, Е.М. Плисс, А.В. Сирик, И.В. Тихонов / ЯрГУ, 2010)
4. Раздел 2.6. Разобрать примеры № 1, 2 (с. 18), решить задачи № 1-9 (с. 20) в методических указаниях «Решение задач по физической химии» (А.М. Гробов, Е.М. Плисс, А.В. Сирик, И.В. Тихонов / ЯрГУ, 2010)
5. Раздел 2.7, 2.9. Разобрать примеры № 3, 4 (с. 19), решить задачи № 10-14 (с. 20) в методических указаниях «Решение задач по физической химии» (А.М. Гробов, Е.М. Плисс, А.В. Сирик, И.В. Тихонов / ЯрГУ, 2010)
6. Раздел 2.10. Разобрать примеры № 1-3 (с. 22), решить задачи № 1-3, 8-12 (с. 24) в методических указаниях «Решение задач по физической химии» (А.М. Гробов, Е.М. Плисс, А.В. Сирик, И.В. Тихонов / ЯрГУ, 2010)

**Задания по теме № 3 «Фазовые равновесия и растворы»**

1. Раздел 3.2. Разобрать примеры № 1, 2 (с. 27), решить задачи № 3-7, 11-13 (с. 29) в методических указаниях «Решение задач по физической химии» (А.М. Гробов, Е.М. Плисс, А.В. Сирик, И.В. Тихонов / ЯрГУ, 2010)
2. Раздел 3.3. Разобрать пример № 2 (с. 32), решить задачи № 8-11 (с. 33) в методических указаниях «Решение задач по физической химии» (А.М. Гробов, Е.М. Плисс, А.В. Сирик, И.В. Тихонов / ЯрГУ, 2010)
3. Раздел 3.4. Разобрать пример № 1 (с. 32), решить задачи № 1-3 (с. 33) в методических указаниях «Решение задач по физической химии» (А.М. Гробов, Е.М. Плисс, А.В. Сирик, И.В. Тихонов / ЯрГУ, 2010)



4. Раздел 3.7. Решить задачи № 4, 5 (с. 33) в методических указаниях «Решение задач по физической химии» (А.М. Гробов, Е.М. Плисс, А.В. Сирик, И.В. Тихонов / ЯрГУ, 2010)
5. Раздел 3.9. Разобрать пример № 3 (с. 32), решить задачи № 12-14 (с. 34) в методических указаниях «Решение задач по физической химии» (А.М. Гробов, Е.М. Плисс, А.В. Сирик, И.В. Тихонов / ЯрГУ, 2010)

#### **Задания по теме № 4 «Электрохимия»**

1. Раздел 4.3. Разобрать пример № 3 (с. 38), решить задачи № 10-14 (с. 40) в методических указаниях «Решение задач по физической химии» (А.М. Гробов, Е.М. Плисс, А.В. Сирик, И.В. Тихонов / ЯрГУ, 2010)
2. Раздел 4.4. Разобрать примеры № 1, 2 (с. 37), решить задачи № 1-9 (с. 39) в методических указаниях «Решение задач по физической химии» (А.М. Гробов, Е.М. Плисс, А.В. Сирик, И.В. Тихонов / ЯрГУ, 2010)
3. Разделы 4.8, 4.9. Разобрать пример № 1 (с. 42), решить задачи № 1, 5 (с. 43) в методических указаниях «Решение задач по физической химии» (А.М. Гробов, Е.М. Плисс, А.В. Сирик, И.В. Тихонов / ЯрГУ, 2010)
4. Раздел 4.10. Разобрать примеры № 2, 3 (с. 42), решить задачи № 2-4, 6-12 (с. 43) в методических указаниях «Решение задач по физической химии» (А.М. Гробов, Е.М. Плисс, А.В. Сирик, И.В. Тихонов / ЯрГУ, 2010)

#### **Задания по теме № 5 «Кинетика химических реакций»**

1. Раздел 5.2. Решить задачи № 1, 2 (с. 7) в практикуме «Химическая кинетика» (И.В. Тихонов, А.В. Сирик, А.М. Гробов / ЯрГУ, 2020)
2. Раздел 5.3. Разобрать примеры № 1, 2 (с. 6), решить задачи № 3, 4, 7, 10, 11 (с. 7, 8) в практикуме «Химическая кинетика» (И.В. Тихонов, А.В. Сирик, А.М. Гробов / ЯрГУ, 2020)
3. Раздел 5.4. Разобрать примеры № 1-3 (с. 10-13), решить задачи № 1, 2, 7-10 (с. 15, 16) в практикуме «Химическая кинетика» (И.В. Тихонов, А.В. Сирик, А.М. Гробов / ЯрГУ, 2020)
4. Раздел 5.5. Разобрать пример № 1 (с. 23), решить задачи № 1-3, 6 (с. 25, 26) в практикуме «Химическая кинетика» (И.В. Тихонов, А.В. Сирик, А.М. Гробов / ЯрГУ, 2020)
5. Раздел 5.6. Разобрать примеры № 1-3 (с. 18-21), решить задачи № 1, 5, 8 (с. 21, 22) в практикуме «Химическая кинетика» (И.В. Тихонов, А.В. Сирик, А.М. Гробов / ЯрГУ, 2020)
6. Раздел 5.7, 5.8. Разобрать примеры № 1, 2 (с. 28-30), решить задачи № 1, 4 (с. 30, 31) в практикуме «Химическая кинетика» (И.В. Тихонов, А.В. Сирик, А.М. Гробов / ЯрГУ, 2020)
7. Раздел 5.13. Разобрать примеры № 1, 2 (с. 35-37), решить задачи № 1, 3-6 (с. 37-39) в практикуме «Химическая кинетика» (И.В. Тихонов, А.В. Сирик, А.М. Гробов / ЯрГУ, 2020)

#### **Тестовые задания**

*(данные задания размещены в ЭУК Moodle и являются обязательными для выполнения)*

В процессе изучения курса студенты должны выполнить тестовые задания по следующим темам:

1. Идеальные и реальные газы (7 вопросов, 1 ч.).
2. Начала термодинамики, термохимия (10 вопросов, 2 ч.)
3. Химическое равновесие (6 вопросов, 1 ч.).
4. Экспресс-тест по термодинамике (10 вопросов, 10 мин.).
5. Фазовое равновесие в однокомпонентных системах. Растворы неэлектролитов (6 вопросов, 1 ч.).
6. Растворы электролитов. Электропроводность (7 вопросов, 2 ч.).
7. Электродвижущие силы и гальванические элементы (9 вопросов, 2 ч.).
8. Основные понятия кинетики. Формальная кинетика (9 вопросов, 2 ч.).

9. Влияние температуры на скорость химических реакций (5 вопросов, 2 ч.).
10. Кинетика сложных реакций (5 вопросов, 2 ч.).
11. Анализ сложных кинетических схем (4 задания, 4 ч.).
12. Цепные реакции. Разветвленные цепные реакции (10 вопросов, 3 ч.).
13. Теории скоростей элементарных реакций (8 вопросов, 2 ч.).
14. Влияние среды на скорость химических реакций (7 вопросов, 2 ч.).
15. Кинетика фотохимических реакций (6 вопросов, 2 ч.).
16. Катализ (12 вопросов, 3 ч.).

В тестовые задания включены различные типы вопросов, типичные примеры которых приведены далее.

*Вопросы с выбором одного или нескольких ответов*

Какие из представленных единиц измерения являются основными в системе СИ. Выберите один или несколько ответов:

- ✓ м<sup>3</sup>
- ✓ Па
- ✓ °С
- ✓ л
- ✓ бар
- ✓ атм
- ✓ мл
- ✓ мм рт. ст.
- ✓ К

*Вопросы на соответствие*

Соотнесите приведенные утверждения с названиями физических законов

Постоянство числа молекул газа при одинаковых внешних условиях	Закон Авогадро
Аддитивность парциальных давлений газов	Закон Гей-Люссака
Аддитивность парциальных объемов газов	Закон Амага
	Закон Дальтона
	Закон Шарля

*Вопросы с вложенными ответами.* В одном задании предлагается несколько вопросов с вариантами ответа (указаны в фигурных скобках) или свободными полями ответа (текстовые, числовые).

Для некоторой химической реакции, протекающей в жидкой фазе, при двух температурах  $T_1$  и  $T_2$  ( $T_1 < T_2$ ) даны значения концентрационных констант равновесия:  $K_1 = 700$ ;  $K_2 = 17$ . Ответьте на представленные вопросы.

1. При температуре  $T_1$  величина  $\Delta_r G_{T_1}^0$   $\{>0$ ; равна 0;  $<0\}$ . Если концентрации всех реагентов и продуктов в системе равны 1 моль/л, то реакция  $\{\text{протекает в сторону продуктов (слева направо); протекает в сторону реагентов (справа налево); находится в состоянии равновесия}\}$ .

2. При температуре  $T_1$  величина  $\Delta_r G_{T_2}^0$   $\{>0$ ; равна 0;  $<0\}$ . Если концентрации всех реагентов и продуктов в системе равны 1 моль/л, то реакция  $\{\text{протекает в сторону продуктов (слева направо); протекает в сторону реагентов (справа налево); находится в состоянии равновесия}\}$ .

3. При повышении температуры равновесие в реакции  $\{\text{смещается в сторону реагентов (влево); смещается в сторону продуктов (вправо); не смещается}\}$ . Реакция  $\{\text{является экзотермической; является эндотермической; протекает без теплового эффекта}\}$

### Вопросы с числовым ответом

Давление насыщенного пара воды при 20 °С равно 17,54 мм.рт.ст. Рассчитайте мольную долю (в долях единицы) воды в воздухе при данной температуре и нормальном давлении в условиях его насыщения водяным паром (100 % влажность воздуха).

Ответ: \_\_\_\_\_

### Решение задач с вводом ответа

(данные задания размещены в ЭУК Moodle и являются обязательными для выполнения)

В процессе изучения курса студенты должны выполнить решить задачи в ЭУК Moodle по следующим темам:

1. Идеальные и реальные газы (3 задачи).
2. Начала термодинамики, термохимия (2 задачи).
3. Химическое равновесие (4 задачи).
4. Фазовое равновесие в однокомпонентных системах. Растворы неэлектролитов (4 задачи).
5. Анализ фазовых диаграмм (2 задачи).
6. Растворы электролитов. Электропроводность (3 задачи).
7. Электродвижущие силы и гальванические элементы (2 задачи).
8. Кинетика реакций 1 и 2 порядка (2 задачи).
9. Влияние температуры на скорость химических реакций (2 задачи).
10. Кинетика сложных реакций (3 задачи).
11. Теории скоростей элементарных реакций (2 задачи).
12. Катализ (1 задача).

Время на решение задач неограничено. Студенты должны решить предлагаемые задачи и ввести результаты промежуточных действий и конечные ответы в соответствующие поля. В задачах реализован режим проверки ответов: можно проверить введенные ответы и, если они неправильные, исправить ошибки и проверить решение повторно. Каждая неудачная проверка снижает максимальный балл за задание на 20%. Чтобы ответ был засчитан как правильный, расхождение ответа с правильным значением не должно превышать 1%. При расхождении не более 2,5% ответ засчитывается как частично правильный (при этом студент получает 50% от максимального балла за такой ответ). Итоговая оценка за задание определяется как сумма оценок за каждую задачу (с учетом количества попыток), которые, в свою очередь, складываются из оценок за отдельные ответы.

#### Пример задачи с вводом ответов

Используя метод Ван-дер-Ваальса, рассчитайте давление внутри сосуда объемом 0,6 л, заполненного 1,2 моль NO при температуре 268 К. Введите результаты промежуточных вычислений и ответ в соответствующие поля.

Константы уравнения Ван-дер-Ваальса:  $a =$  \_\_\_\_\_;  $b =$  \_\_\_\_\_  $\cdot 10^{-5}$

Давление газа:  $P =$  \_\_\_\_\_ атм

### Расчетное задание по термохимии

Рассчитайте величины  $\Delta_r H_{298}^0$ ,  $\Delta_r H_T^0$ ,  $\Delta_r S_{298}^0$ ,  $\Delta_r G_{298}^0$ ,  $\Delta_r G_T^0$  и константу равновесия реакции при указанной температуре. Рассчитайте объемный состав равновесной смеси при указанном давлении при условии, что исходные вещества были взяты в стехиометрических соотношениях.

Примеры индивидуальных вариантов:

$\text{CO}_2 + 3\text{H}_2 = \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$	500 К	20 атм
$\text{SO}_2 + \text{Cl}_2 = \text{SO}_2\text{Cl}_2$	500 К	15 атм
$\text{CO} + \text{Cl}_2 = \text{COCl}_2$	700 К	1 атм

Каждый студент получает индивидуальное задание. Проверка задания осуществляется в ЭУК Moodle аналогично задачам с вводом ответов.

### Расчетное задание «Построение диаграммы кипения»

Дана зависимость составов жидкой фазы и находящегося с ней в равновесии пара от температуры для двухкомпонентной жидкой системы А – В при постоянном давлении. Молярный состав жидкой фазы  $x$  и насыщенного пара  $y$  выражен в процентах вещества В.

1. По приведенным данным постройте диаграмму кипения системы А – В и определите точку азеотропа.

Для системы с молярной долей  $N_B$  % вещества В определите:

2. Температуру, при которой начнется кипение, и состав первого пузырька пара над этой системой.

3. Температуру, при закончится кипение, и состав последней капли жидкой фазы в этот момент.

4. Состав пара и состав жидкой фазы, находящихся в равновесии, если данную систему нагреть до температуры  $T_1$ .

5. Массы жидкости и пара при этой температуре, а также массы компонентов в жидкости и паре, если общая масса системы равна 1 кг.

6. Какой компонент и в каком количестве (г) может быть выделен из системы общей массой 1 кг путем ректификации?

7. Какого компонента и сколько (г) надо добавить к данной системе, чтобы получилась азеотропная система?

Пример индивидуального варианта:

$x$	$y$	$T$	А	$H_2O$
0	0	373	В	$HNO_3$
8,4	0,6	379,5	$N_B$	15
12,3	1,8	385	$T_1$	390
22,1	6,6	391,5		
30,8	16,6	394,6		
38,3	38,3	394,9		
40,2	60,2	394		
46,5	75,9	391		
53	89,1	385		
61,5	92,1	372		
100	100	357		

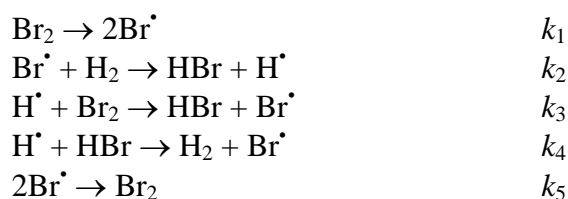
Каждый студент получает индивидуальное задание. Представление ответа на задание осуществляется в ЭУК Moodle, проверка производится преподавателем вручную.

### Семинар по темам

#### «Приближенные методы химической кинетики. Цепные реакции»

Пример индивидуального варианта:

Реакция взаимодействия брома и водорода  $H_2 + Br_2 \rightarrow 2HBr$  может протекать по механизму:



1. Определите активные центры, для которых можно использовать приближение квазистационарности.

2. Является ли данная реакция цепной? Если является, укажите тип каждой стадии и выделите звено цепи. Какая стадия является лимитирующей? Ответы обоснуйте.

3. Выведите кинетическое уравнение для скорости образования  $\text{HBr}$  (учтите его участие в стадиях 2, 3 и 4).

4. Определите порядки реакции по  $\text{H}_2$ ,  $\text{Br}_2$  и  $\text{HBr}$  а) если  $W_3 \gg W_4$ ; б) если  $W_3 \ll W_4$ . Чем является  $\text{HBr}$  для данной реакции? Является ли цепной реакция в каждом из этих случаев?

*Каждый студент получает индивидуальное задание. Представление ответа на задание осуществляется в ЭУК Moodle, проверка производится преподавателем вручную. Каждый студент проверяет работы других студентов и получает за это дополнительную оценку.*

### Коллоквиумы

В процессе изучения курса студенты должны ответить на вопросы четырех коллоквиумов по темам: «Газы. Химическая термодинамика», «Фазовые равновесия и растворы», «Электрохимия», «Кинетика химических реакций». К каждому коллоквиуму студенту выдается два вопроса посредством ЭУК в Moodle. Список вопросов к коллоквиумам аналогичен вопросам к экзамену (см раздел 2) по соответствующей теме. Студент устно отвечает на вопросы коллоквиума, используя подготовленный конспект ответа, при необходимости преподаватель задает дополнительные вопросы. Коллоквиумы проходят в рамках лабораторных работ.

### Контрольная работа № 1

(приведены примеры двух вариантов,  
каждый студент получает индивидуальное задание)

#### Вариант 1.

1. Определите формулу предельного углеводорода, если один грамм этого вещества при 298 К и 200 кПа занимает объем 144 мл.

2. Полагая, что вода подчиняется уравнению Ван-дер-Ваальса, вычислите критические параметры  $\text{H}_2\text{O}$  – температуру, давление и мольный объём. Постоянные уравнения Ван-дер-Ваальса для воды следующие:  $a = 5,464 \text{ л}^2 \cdot \text{атм/моль}$ ,  $b = 0,030 \text{ л/моль}$ .

#### Вариант 2.

1. Какое количество диоксида углерода при  $5,066 \cdot 10^5 \text{ Па}$  и 323 К занимает одинаковый объем с 1 г гелия при  $1,013 \cdot 10^4 \text{ Па}$  и 273,15 К? Чему равны плотности этих газов?

2. Вычислите с использованием коэффициента сжимаемости объем 100 г этана при 367 К и давлении 87 атм.

### Контрольная работа № 2

(приведены примеры двух вариантов,  
каждый студент получает индивидуальное задание)

#### Вариант 1.

1. Энтальпия сгорания глюкозы при 25°C равна  $-2816 \text{ кДж/моль}$ . Рассчитайте энтальпию образования глюкозы из простых веществ, если стандартные теплоты образования углекислого газа и жидкой воды равны  $-393,5$  и  $-285,8 \text{ кДж/моль}$  соответственно.

2. Рассчитайте изменение энтропии при нагревании 287 г хлорида серебра ( $T_{\text{пл}} = 728 \text{ К}$ ,  $\Delta H_{\text{пл}}^0 = 12886,7 \text{ Дж/моль}$ ) от 298 до 870 К. Удельные теплоемкости хлорида серебра  $c_{P(\text{ж})} = 66,94 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}$ ;  $c_{P(\text{т})} = 62,26 + 4,18 \cdot 10^{-3} \cdot T - 11,3 \cdot 10^5 / T^2 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}$ .

3. Рассчитать общее давление, которое необходимо приложить к смеси 3 моль  $\text{H}_2$  и 1 моль  $\text{N}_2$ , чтобы получить равновесную смесь, содержащую 10%  $\text{NH}_3$  по объему при 400°C. Константа равновесия реакции  $\text{N}_{2(\text{г})} + 3\text{H}_{2(\text{г})} = 2\text{NH}_{3(\text{г})}$  при 400°C равна  $1,60 \cdot 10^{-4}$ .

### Вариант 2.

1. 1 моль кислорода, взятый при 25°C и 1 атм, нагрет при постоянном давлении до удвоения объема. Молярная теплоемкость кислорода дается выражением:  $C_p = 31,46 + 3,39 \cdot 10^{-3}T - 3,77 \cdot 10^{-5}/T^2$  Дж/(моль·К). Рассчитайте изменение внутренней энергии и энтальпии для этого процесса. Кислород можно считать идеальным газом.

2. Рассчитайте изменение энтропии при добавлении 100 г льда, находящегося при температуре 0°C, к 300 г воды (80°C) в изолированном сосуде. Удельная теплота плавления льда равна 335 Дж/г, удельная теплоемкость воды 4,184 Дж/(г·К).

3. Дана температурная зависимость константы равновесия реакции  $\text{CO} + \text{Cl}_2 = \text{COCl}_{2(g)}$ :

$\lg K_p = \frac{6031}{T} + 0,247 \cdot \lg T + 0,18 \cdot 10^{-3}T - \frac{0,158 \cdot 10^5}{T^2} - 7,86$ . Найдите значение  $\Delta_r H_T^0$  при 700 К.

### Контрольная работа № 3

(приведены примеры двух вариантов,  
каждый студент получает индивидуальное задание)

#### Вариант 1.

1. При плавлении фенола (40,9°C) изменение объема составляет 5,34 см<sup>3</sup>/моль. Энтальпия плавления фенола равна 28,7 кал/г. Определите температуру плавления фенола под давлением 100 атм.

2. Дибромэтилен и дибромпропилен при смешении образуют почти идеальные растворы. При 80°C давление пара дибромэтилена равно 22,9 кПа, а дибромпропилена 16,9 кПа. Рассчитать состав раствора, находящегося в равновесии с паром, массовая доля дибромэтилена в котором равна 0,50.

3. Раствор, содержащий 0,81 г углеводорода  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$  и 190 г бромистого этила, замерзает при 9,47°C. Температура замерзания бромистого этила 10,00°C, криоскопическая постоянная 12,5 К·кг/моль. Рассчитать  $n$ .

#### Вариант 2.

1. При плавлении фенола (40,9°C) изменение объема составляет 5,34 см<sup>3</sup>/моль. Энтальпия плавления фенола равна 28,7 кал/г. При каком давлении температура плавления фенола повысится на 0,5°C?

2. Вычислите константу Генри для азота в воде при 0°C, если один объем воды поглощает 0,0942 объемов (н.у.) азота.

3. 9 г полистирола растворено в 1 л бензола. Высота столбика раствора (плотностью 0,89 г/см<sup>3</sup>) в осмометре при 25°C равна 12,5 см. Рассчитать молярную массу полистирола.

### Контрольная работа № 4

(приведены примеры двух вариантов,  
каждый студент получает индивидуальное задание)

#### Вариант 1.

1. Написать схему гальванического элемента, состоящего из медного (+0,337 В) и хлорного (+1,36 В) электродов. Написать полуреакции, происходящие на каждом из электродов, а также общее уравнение реакции. Рассчитать стандартную ЭДС и константу равновесия реакции, а также ЭДС и энергию Гиббса при следующих условиях:  $a(\text{Cu}^{2+}) = 0,05$  М,  $a(\text{Cl}^-) = 0,3$  М,  $P(\text{Cl}_2) = 580$  мм рт. ст.

2. Определить стандартный окислительно-восстановительный потенциал для процесса  $\text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + e^- = \text{NO}_2 + 2\text{OH}^-$ , если стандартный окислительно-восстановительный потенциал для процесса  $\text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + e^- = \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$  равен +0,80 В.

3. Удельная электропроводность 0,1 М раствора азотистой кислоты при 25 °С равна 0,290 См/м. Рассчитайте молярную электропроводность раствора, константу диссоциации кислоты и рН раствора.

4. Используя первое приближение теории Дебая-Хюккеля, рассчитать коэффициент активности иона  $\text{Al}^{3+}$  в 0,001 моль/л растворе  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  при 25 °С. Как изменится эта величина, если к раствору добавить хлорид натрия до концентрации 0,005 моль/л?

### Вариант 2.

1. Написать схему гальванического элемента, состоящего из цинкового (-0,763 В) и водородного электродов. Написать полуреакции, происходящие на каждом из электродов, а также общее уравнение реакции. Рассчитать стандартную ЭДС и константу равновесия реакции, а также ЭДС и энергию Гиббса при следующих условиях:  $a(\text{Zn}^{2+}) = 0,2$  М,  $P(\text{H}_2) = 2$  атм,  $a(\text{H}^+) = 1$  М.

2. Рассчитать стандартный окислительно-восстановительный потенциал системы  $\text{Pb}^{4+}/\text{Pb}^{2+}$ , если известны стандартные электродные потенциалы  $\text{Pb}^{4+}/\text{Pb}$  (+0,77 В),  $\text{Pb}^{2+}/\text{Pb}$  (-0,13 В).

3. Удельная электропроводность насыщенного раствора  $\text{AgIO}_3$  при 298 К равна  $1,82 \cdot 10^{-3}$  См/м, удельная электропроводность воды при той же температуре равна  $1 \cdot 10^{-4}$  См/м. Рассчитать растворимость и произведение растворимости соли, а также число переноса катиона в насыщенном растворе.

4. Рассчитайте удельную электропроводность  $5 \cdot 10^{-4}$  М водного раствора  $\text{KBr}$  при 25 °С, считая, что подвижности ионов при этой концентрации равны их предельным подвижностям. Через слой раствора длиной 3 см, заключенный между электродами площадью  $5 \text{ см}^2$ , пропускают ток силой 2 мА. Какое расстояние пройдут ионы  $\text{K}^+$  и  $\text{Br}^-$  за час?

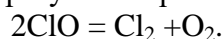
## Контрольная работа № 5

(приведены примеры двух вариантов, каждый студент получает индивидуальное задание)

### Вариант 1.

1. Реакция первого порядка завершится практически полностью (на 99,9 %) за 160 мин. Определить время полупревращения вещества А.

2. Радикал  $\text{ClO}$  быстро распадается в результате реакции:

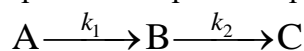


Были получены следующие кинетические данные:

$t \cdot 10^3, \text{ с}$	0,12	0,62	0,96	1,60	3,20	4,00	5,75
$[\text{ClO}] \cdot 10^6, \text{ моль/л}$	8,49	7,69	7,10	6,38	5,20	4,77	3,95

Определите порядок и константу скорости данной реакции.

3. При изучении последовательной реакции первого порядка



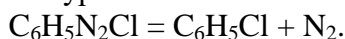
было обнаружено, что максимальная концентрация вещества В достигается в момент времени 34,4 мин, при этом концентрация вещества А составляет 17,9% от первоначальной. Определить константы скорости  $k_1$  и  $k_2$ , а также выход конечного продукта С через 70 мин после начала реакции.

4. По значениям констант скоростей при двух температурах определить энергию активации, константу скорости при температуре  $T_3$  и температурный коэффициент скорости реакции в уравнении Вант-Гоффа:  $T_1 = 574$  К;  $k_1 = 0,0856$  л/(моль·мин);  $T_2 = 497$  К;  $k_2 = 0,00036$  л/(моль·мин);  $T_3 = 524$  К.

## Вариант 2.

1. В реакции второго порядка  $2A \rightarrow B$  при  $[A]_0 = 2$  моль/л степень превращения вещества А через 8 мин после начала реакции составила 18 %. Определить время полупревращения вещества А, если его начальная концентрация будет равна 3 моль/л.

2. Фенилдиазохлорид разлагается по уравнению:

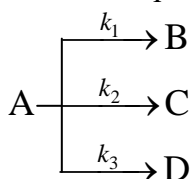


При температуре 323 К и начальной концентрации 10 г/л были получены следующие результаты:

$t$ , мин	6	9	12	14	18	22	24	26	30	$\infty$
$V_{N_2}$ , см <sup>3</sup>	19,3	26,0	32,6	36,0	41,3	45,0	46,5	48,3	50,4	58,3

Определите порядок реакции и константу скорости.

3. Реакция разложения вещества А может протекать параллельно по трем направлениям:



Концентрации продуктов в смеси через 5 мин после начала реакции были равны:  $[B] = 3,2$  моль/л,  $[C] = 1,8$  моль/л,  $[D] = 4,0$  моль/л. Определите константы скорости  $k_1$ ,  $k_2$  и  $k_3$ , если период полураспада вещества А равен 10 мин.

4. По значениям констант скоростей при двух температурах определить энергию активации, константу скорости при температуре  $T_3$  и температурный коэффициент скорости реакции в уравнении Вант-Гоффа:  $T_1 = 599$  К;  $k_1 = 0,00146$  л/(моль·мин);  $T_2 = 672$  К;  $k_2 = 0,0568$  л/(моль·мин);  $T_3 = 648$  К.

## Критерии оценивания результатов текущего контроля успеваемости

Форма текущего контроля успеваемости	Правила выставления оценки
Опрос, коллоквиум	<ul style="list-style-type: none"><li>- <i>Отлично</i> выставляется за полный ответ на поставленный вопрос с включением в содержание ответа рассказа (лекции) преподавателя, материалов учебников, дополнительной литературы без наводящих вопросов; полное выполнение задания.</li><li>- <i>Хорошо</i> выставляется за полный ответ на поставленный вопрос в объеме рассказа (лекции) преподавателя с включением в содержание ответа материалов учебников с четкими положительными ответами на наводящие вопросы преподавателя; выполнение задания с незначительными ошибками.</li><li>- <i>Удовлетворительно</i> выставляется за ответ, в котором озвучено более половины требуемого материала, с положительным ответом на большую часть наводящих вопросов; или обучающийся приступил к выполнению задания, наметил алгоритм решения, но допустил серьезные ошибки на этапах решения.</li><li>- <i>Неудовлетворительно</i> выставляется за ответ, в котором озвучено менее половины требуемого материала или не озвучено главное в содержании вопроса с отрицательными ответами на наводящие вопросы, или обучающийся отказался от ответа без предварительного объяснения уважительных причин; или обучающийся не приступил к выполнению задания или не смог выработать алгоритм его решения.</li></ul>
Тест, задачи с	- <i>Отлично</i> выставляется за 90% правильных ответов.



вводом ответа, расчетное задание по термохимии	<p>- <i>Хорошо</i> выставляется за 70% правильных ответов.</p> <p>- <i>Удовлетворительно</i> выставляется за 50% правильных ответов.</p> <p>- <i>Неудовлетворительно</i> выставляется при наличии менее 50% правильных ответов или при отказе обучающегося пройти тестовый контроль.</p>
Контрольная работа, расчетное задание «Построение диаграммы кипения», семинар	<p>- <i>Отлично</i> выставляется, если обучающийся выполнил работу (общий процент выполнения заданий не менее 90%), демонстрирует знания теоретического и практического материала по теме работы, даёт правильный алгоритм решения.</p> <p>- <i>Хорошо</i> выставляется, если обучающийся выполнил работу с небольшими недочетами (общий процент выполнения заданий не менее 70%), демонстрирует знания теоретического и практического материала по теме работы, допуская незначительные неточности при их применении и выборе алгоритма решения.</p> <p>- <i>Удовлетворительно</i> выставляется, если обучающийся в целом выполнил работу (общий процент выполнения заданий не менее 50%), допуская существенные недочеты, в том числе при выборе алгоритма решения.</p> <p>- <i>Неудовлетворительно</i> выставляется, если обучающийся не справился с выполнением задания (общий процент выполнения заданий менее 50%), не смог выбрать алгоритм его решения, продемонстрировав существенные пробелы в знаниях основного учебного материала.</p>
Лабораторная работа	<p>- <i>Отлично</i> выставляется, если обучающийся имеет глубокие знания учебного материала по теме лабораторной работы, показывает усвоение взаимосвязи основных понятий используемых в работе, смог ответить на все уточняющие и дополнительные вопросы, демонстрирует знания теоретического и практического материала по теме лабораторной работы, определяет взаимосвязи между показателями задачи, даёт правильный алгоритм решения, определяет междисциплинарные связи по условию задания.</p> <p>- <i>Хорошо</i> выставляется, если обучающийся показал знание учебного материала, усвоил основную литературу, смог ответить почти полно на все заданные дополнительные и уточняющие вопросы. Обучающийся демонстрирует знания теоретического и практического материала по теме лабораторной работы, допуская незначительные неточности при решении задач, имея неполное понимание междисциплинарных связей при правильном выборе алгоритма решения задания.</p> <p>- <i>Удовлетворительно</i> выставляется, если обучающийся в целом освоил материал лабораторной работы, ответил не на все уточняющие и дополнительные вопросы, обучающийся затрудняется с правильной оценкой предложенной задачи, даёт неполный ответ, требующий наводящих вопросов преподавателя, выбор алгоритма решения задачи возможен при наводящих вопросах преподавателя.</p> <p>- <i>Неудовлетворительно</i> выставляется обучающемуся, если он имеет существенные пробелы в знаниях основного учебного материала лабораторной работы, который полностью не раскрыл</p>

Фонды оценочных средств по дисциплине предусматривают проверку индикаторов достижения компетенций.

## 2 Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации

### Список вопросов к экзамену (5 семестр)

1. Параметры состояния газов. Идеальный газ. Газовые законы. Нормальные и стандартные условия.
2. Понятие о парциальном давлении и парциальном объеме компонента газовой смеси. Законы Дальтона и Амага, следствия из них.
3. Отклонения реальных газов от законов идеальных газов. Сжижение газов. Критическое состояние и критические параметры.
4. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Приведенные параметры. Приведенное уравнение состояния. Закон соответственных состояний.
5. Вычисление состояния реальных газов и их смесей с использованием коэффициента сжимаемости.
6. Основные понятия термодинамики. Виды систем и процессов. Свойства, параметры и функции состояния.
7. Формулировки первого начала термодинамики для круговых и некруговых процессов. Внутренняя энергия и энтальпия – термодинамические функции состояния системы. Применение первого начала к отдельным процессам (изохорному, изобарному, адиабатическому). Работа расширения идеального газа.
8. Закон Гесса и следствие из него. Понятие о теплотах образования и сгорания. Стандартный тепловой эффект и его расчет.
9. Теплоемкость газов. Средняя и истинная, изохорная и изобарная, молярная и удельная теплоемкости. Уравнение Кирхгофа в дифференциальном и интегральном выражениях.
10. Самопроизвольные и несамопроизвольные процессы. Равновесные и неравновесные процессы. Формулировка и математическое выражение второго начала термодинамики.
11. Энтропия – термодинамическая функция состояния системы. Изменение энтропии в обратимых и необратимых процессах. Вычисление изменения энтропии в различных процессах (изотермическом, изобарном, изохорном, при расширении идеального газа, в химической реакции).
12. Изменение энтропии как критерий самопроизвольности процессов и равновесия в изолированных системах. Статистическая природа второго начала термодинамики. Термодинамическая вероятность. Уравнение Больцмана. Постулат Планка. Третье начало термодинамики.
13. Термодинамические функции состояния системы в неизолированных системах. Максимальная работа и энергия Гельмгольца, максимальная полезная работа и энергия Гиббса. Энергия Гельмгольца и энергия Гиббса как критерии самопроизвольности процессов и равновесия в неизолированных системах.
14. Энергия Гельмгольца и энергия Гиббса как характеристические функции. Уравнения Гиббса-Гельмгольца.
15. Зависимость  $\Delta G_T^0$  от температуры. Вычисление изменения энергии Гиббса в химической реакции. Метод Темкина-Шварцмана.
16. Неидеальные системы. Понятие о фугитивности и активности. Стандартные состояния для газов, жидких и твердых веществ и для растворов.
17. Химический потенциал. Зависимость химического потенциала для идеальных и неидеальных систем.
18. Константа равновесия для идеальных и неидеальных систем. Закон действующих масс. Расчет равновесия гомогенных и гетерогенных реакций.

19. Уравнение изотермы химической реакции. Уравнение изобары и изохоры в дифференциальном и интегральном выражениях. Влияние внешних условий на химическое равновесие.
20. Фаза, составляющее вещество, число компонентов и число степеней свободы. Условие равновесия фаз. Правило фаз.
21. Диаграмма состояния воды. Тройная точка. Диаграмма состояния серы.
22. Уравнение Клаузиуса-Клапейрона и его применение для процессов испарения и плавления. Вычисление теплот испарения жидкостей аналитическим и графическим способами.
23. Закон Рауля для предельно разбавленных растворов неэлектролитов. Понижение температуры замерзания растворов. Повышение температуры кипения растворов. Осмотическое давление растворов. Изотонический коэффициент.
24. Идеальные растворы. Закон Рауля. Условия образования идеальных растворов. Диаграммы «Состав – давление пара», «Состав – температура кипения».
25. Неидеальные растворы. Положительные и отрицательные отклонения от закона Рауля и их причины. Диаграммы «Состав – давление пара», «Состав – температура кипения».
26. Диаграмма «Состав – температура кипения». Кривые жидкости и пара. Температура начала кипения и состав первого пузырька пара. Температура конца кипения и состав последней капли жидкости. Правило рычага. Дистилляция и ректификация.
27. Соотношение между составами жидкости и пара для идеальных и неидеальных растворов. Коэффициент относительной летучести. Законы Коновалова. Азеотропные растворы.
28. Равновесие жидкость-жидкость в двухкомпонентных системах. Критическая температура растворения.
29. Равновесие пар – жидкость в системах с ограниченной взаимной растворимостью жидкостей. Диаграммы «Состав – давление пара», «Состав – температура кипения».
30. Равновесие пар – жидкость в системах с взаимно нерастворимыми жидкостями. Диаграммы «Состав – давление пара», «Состав – температура кипения». Перегонка с водяным паром.
31. Растворимость газов и твердых тел в жидкостях. Закон Генри. Уравнение Шредера.
32. Диаграммы плавкости систем с неограниченной растворимостью компонентов в жидком и взаимной нерастворимостью в твердом состояниях. Эвтектические смеси и их свойства.
33. Диаграммы плавкости систем с неограниченной растворимостью компонентов в жидком и ограниченной взаимной растворимостью в твердом состояниях. Эвтектические и перитектические точки.
34. Диаграммы плавкости смесей изоморфных компонентов. Правила Гиббса – Розебома.
35. Диаграммы плавкости систем с образованием химических соединений, плавящихся конгруэнтно.
36. Диаграммы плавкости систем с образованием химических соединений, плавящихся инконгруэнтно.
37. Термический анализ. Построение диаграмм плавкости по кривым охлаждения.
38. Графическое изображение состава трехкомпонентной системы. Треугольники Гиббса и Розебома.
39. Равновесие кристаллы – жидкий раствор в трехкомпонентных системах.
40. Равновесие жидкость – жидкость в трехкомпонентных системах. Диаграммы растворимости трех жидкостей с различными областями расслоения.
41. Распределение растворяемого вещества между двумя жидкими фазами. Экстракция.
42. Межмолекулярное взаимодействие. Ван-дер-ваальсовы силы и специфическое взаимодействие.

### Список вопросов к экзамену (6 семестр)

1. Равновесие в растворах электролитов. Теория электролитической диссоциации Аррениуса. Механизм диссоциации. Сильные и слабые электролиты. Степень диссоциации. Константа диссоциации. Закон разведения Оствальда. Диссоциация воды, ионное произведение воды, водородный показатель.
2. Сильные электролиты. Активность и коэффициент активности. Основные понятия электростатической теории разбавленных растворов сильных электролитов Дебая и Гюккеля. Ионная сила раствора. Вычисление средних ионных коэффициентов активности.
3. Неравновесные процессы в растворах электролитов. Скорости движения ионов. Числа переноса. Электрическая проводимость растворов электролитов. Удельная электропроводность, ее зависимость от концентрации и температуры.
4. Молярная электропроводность, ее зависимость от концентрации и температуры. Закон Кольрауша. Подвижности ионов. Вычисление степени диссоциации и чисел переноса.
5. Влияние межионного взаимодействия на электропроводность растворов сильных электролитов. Электрофоретический и релаксационный эффекты. Эффекты Дебая-Фалькенгагена и Вина.
6. Кондуктометрический метод определения констант диссоциации и произведений растворимости. Определение изменения энергии Гиббса и энтальпии в процессах диссоциации и растворения. Кондуктометрическое титрование. Кривые титрования сильных и слабых кислот щелочью.
7. Возникновение скачка потенциала на границе электрод (металл) – раствор электролита. Двойной электрический слой и его строение. Гальванический элемент. Диффузионный потенциал.
8. Электродвижущая сила. Уравнение Нернста и его вывод на основе уравнения изотермы. Применение уравнения Нернста к элементу Якоби – Даниэля. Термодинамика гальванического элемента.
9. Электродный потенциал. Классификация электродов. Расчет потенциала отдельных электродов по уравнению Нернста.
10. Определение возможности протекания окислительно-восстановительной реакции. Вычисление электродных потенциалов в кислой, нейтральной и щелочной среде. Вычисление окислительно-восстановительных потенциалов по значениям электродных потенциалов (на примере  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ ).
11. Потенциометрический метод определения констант диссоциации и произведений растворимости. Определение изменения энергии Гиббса и энтальпии в процессах диссоциации и растворения. Потенциометрическое измерение pH. Потенциометрическое титрование.
12. Химические и концентрационные цепи. Химические источники тока, их разновидности, достоинства и недостатки.
13. Электролиз. Определение реакций, протекающих на электродах при электролизе. Коррозия металлов, ее виды и способы защиты.
14. Задачи химической кинетики. Классификация химических реакций. Скорость химической реакции. Закон действия масс.
15. Константа скорости. Методы вычисления константы скорости реакции.
16. Молекулярность и порядок реакции. Общий и частный порядки. Методы определения порядка реакции.
17. Реакции первого, второго и нулевого порядков. Время полупревращения в реакциях различных порядков.
18. Зависимость скорости реакции от температуры. Правило Вант-Гоффа. Уравнение Аррениуса. Энергия активации. Графический и аналитический способ определения.
19. Сложные химические реакции: обратимые, параллельные и конкурирующие.
20. Сложные химические реакции: последовательные и сопряженные.

21. Анализ сложных кинетических схем. Влияние констант скорости отдельных стадий на вид кинетических кривых.
22. Цепные реакции. Зарождение, продолжение, разветвление и обрыв цепи. Длина цепи. Лимитирующая стадия.
23. Квазиравновесное приближение. Метод квазистационарных концентраций. Кинетика неразветвленных цепных реакций (на примере полимеризации или окисления углеводорода).
24. Кинетика разветвленных цепных реакций (на примере окисления водорода). Критические явления. Пределы воспламенения. Тепловой взрыв.
25. Теория активных соударений. Физический смысл энергии активации. Стерический фактор.
26. Теория активированного комплекса. Поверхность потенциальной энергии. Сопоставление с теорией активных соударений.
27. Термодинамический аспект теории активированного комплекса. Применение теории активированного комплекса к мономолекулярным реакциям.
28. Влияние среды на скорость химических реакций. Кинетический и диффузионный контроль. Клеточный эффект. Уравнение Бренстеда-Бьеррума. Термодинамика сольватации.
29. Неспецифическая и специфическая сольватация. Влияние сольватации на скорость гомо- и гетеролитических реакций.
30. Кинетика фотохимических реакций. Законы фотохимии. Элементарный акт фотохимического процесса. Квантовый выход.
31. Общие закономерности катализа. Свойства катализаторов. Формальные механизмы каталитических реакций. Термодинамика и кинетика катализа.
32. Кислотно-основной катализ. Типы катализа. Уравнение Бренстеда.
33. Ферментативный катализ. Уравнение Михаэлиса-Ментен. Ингибирование ферментативных процессов. Активность ферментов.
34. Гетерогенный катализ. Адсорбция и хемосорбция. Кинетика гетерогенного катализа. Теории гетерогенного катализа.

### **Правила выставления оценки на экзамене по билетам**

Экзаменационный ответ оценивается по 4-х бальной системе, в соответствие с которой выставляются оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

- оценка **«отлично»** выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответами при видоизменении заданий, использует в ответе материал дополнительной учебной литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач;

- оценка **«хорошо»** выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допускает существенных неточностей в ответе на поставленные вопросы, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения;

- оценка **«удовлетворительно»** выставляется студенту, если он имеет знания основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ;

- оценка **«неудовлетворительно»** выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями и ошибками выполняет практические работы.

### **Методические указания для студентов по освоению дисциплины**

Основной формой изложения учебного материала по дисциплине «Физическая химия» являются лекции с применением презентаций. Это связано с тем, что изучаемый курс содержит большое количество уравнений, формул и схем. Лекционный курс предоставляется студенту в электронном виде. Вместе с тем необходимо учитывать, что в ходе лекции многие примеры разбираются и иллюстрируются преподавателем на доске. Без конспектирования данных записей невозможно освоить курс в полном объеме.

По большинству тем предусмотрены практические занятия, на которых происходит закрепление лекционного материала путем применения его к конкретным задачам физической химии. Для успешного освоения дисциплины очень важно решение достаточно большого количества задач, как в аудитории, так и самостоятельно в качестве домашних заданий. Примеры решения задач разбираются на лекциях и практических занятиях, при необходимости по наиболее трудным темам проводятся дополнительные консультации. Основная цель решения задач – помочь усвоить фундаментальные понятия и основы физической химии. В процессе изучения дисциплины рекомендуется регулярное повторение пройденного лекционного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо дома еще раз проработать и при необходимости дополнять информацией, полученной на консультациях, лабораторных занятиях или из учебной литературы. Большое внимание должно быть уделено выполнению самостоятельной работы, в том числе в форме тестов и задач с вводом ответа в ЭУК Moodle. В качестве заданий для самостоятельной работы дома студентам предлагаются задачи, аналогичные разобранным на лекциях или немного более сложные, которые являются результатом объединения нескольких базовых задач. Освоить вопросы, излагаемые в процессе изучения дисциплины самостоятельно студенту крайне сложно, поэтому посещение всех аудиторных занятий является совершенно необходимым.

Полученные на лекциях теоретические знания закрепляются и применяются на практике на лабораторных занятиях, посвященных применению подходов физической химии к определению различных термодинамических свойств веществ и изучению закономерностей химических процессов. Защита отчетов по лабораторным работам является одним из неотъемлемых этапов изучения курса.

Для проверки и контроля усвоения теоретического материала и приобретенных практических навыков в течение обучения проводятся мероприятия текущей аттестации в виде контрольных работ, коллоквиумов, расчетного задания (5 семестр), защиты лабораторных работ. Также проводятся консультации (при необходимости) по разбору заданий для самостоятельной работы, которые вызвали затруднения. В конце каждого семестра студенты сдают экзамен. Экзамен принимается по экзаменационным билетам, каждый из которых включает в себя два теоретических вопроса и одну задачу, аналогичную рассматривавшимся на практических занятиях и встречавшимся в контрольных работах.

### **Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов по дисциплине**

Для самостоятельной работы рекомендуется использовать литературу, указанную в разделе 8 данной программы.

При выполнении расчетного задания, для подготовки к практическим занятиям и самостоятельном решении задач необходимо использовать следующие методические указания, в которых разобраны типовые задачи и даны задания для самостоятельной работы:

Решение задач по физической химии: метод. указания. / сост. А.М. Гробов, Е.М. Плисс, А.В. Сирик, И.В. Тихонов; Яросл. гос. ун-т им. П.Г. Демидова, Науч.-метод. совет ун-та – Ярославль: ЯрГУ, 2010. – 45 с. <http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20100309.pdf>

Тихонов И.В. Химическая кинетика [Электронный ресурс]: практикум. / И.В. Тихонов, А.В. Сирик, А.М. Гробов; Яросл. гос. ун-т им. П.Г. Демидова – Ярославль: ЯрГУ, 2020. – 48 с. <http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20200303.pdf>

При оформлении отчетов по лабораторным работам необходимо использовать следующие методические указания, в которых приводятся описания работ, а также требования к оформлению отчетов и контрольные вопросы:

Физическая химия: метод. указания к лабораторному практикуму. / сост. А.М. Гробов, В.Н. Казин, Е.М. Плисс, А.В. Сирик, И.В. Тихонов; Яросл. гос. ун-т им. П.Г. Демидова, Науч.-метод. совет ун-та – Ярославль: ЯрГУ, 2010. – 103 с. <http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20100303.pdf>

Формальная кинетика: метод. указания. / сост. Е.М. Плисс, А.М. Гробов, А.В. Сирик, И.В. Тихонов, А.И. Русаков; Яросл. гос. ун-т им. П.Г. Демидова, Науч.-метод. совет ун-та – Ярославль: Б.и., 2009. – 54 с. <http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20090308.pdf>

Также в процессе изучения дисциплины рекомендуется использовать ряд интернет-ресурсов:

**1. Учебные материалы по физической химии электронной библиотеки химического факультета МГУ** (<http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/phys.html>). Данный сайт содержит учебные пособия и методические указания, из которых наиболее полезными в рамках данного курса являются:

Еремин В.В., Каргов С.И., Кузьменко Н.Е. Задачи по физической химии. Часть 1. Химическая термодинамика (<http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/eremin1/welcome.html>)

Еремин В.В., Каргов С.И., Кузьменко Н.Е. Задачи по физической химии. Часть II. Химическая кинетика. Электрохимия (<http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/eremin/welcome.html>)

Кубасов А.А. Химическая кинетика и катализ (<http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/kubasov/welcome.html>)

Семиохин И.А. Сборник задач по химической термодинамике (часть I) (<http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/semiochin/part1.pdf>)

Семиохин И.А. Сборник задач по химической термодинамике (часть II) (<http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/semiochin/part11.pdf>)

Семиохин И.А. Сборник задач по электрохимии (<http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/semiochin/elektrochimia/all.pdf>)

Семиохин И.А. Сборник задач по химической кинетике (<http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/semiochin/kinetika1/all.pdf>)

**2. NIST Chemistry WebBook** (<http://webbook.nist.gov/chemistry>) База данных содержит сведения об экспериментальных термодинамических свойствах веществ, а также о константах скорости большого количества элементарных реакций.

**3. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"** (<http://window.edu.ru/library>).

Целью создания информационной системы "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" (ИС "Единое окно ") является обеспечение свободного доступа к интегральному каталогу образовательных интернет-ресурсов и к электронной библиотеке учебно-методических материалов для общего и профессионального образования.

Полезными для самостоятельной работы являются следующие издания, представленные в библиотеке этого сайта:

**Кравченко Т.А., Введенский А.В., Козадеров О.А. Сборник примеров и задач по физической химии. Химическая термодинамика (часть I). – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2002. – 64 с. <http://window.edu.ru/resource/481/27481>**

(Сборник содержит фундаментальные положения и уравнения, необходимые для понимания и решения задач по химической термодинамике. В нем приведено большое количество примеров с подробным изложением хода решения задач. Даны наиболее типичные задачи и ответы на них по термохимии и термодинамическим потенциалам химических процессов (часть I), термодинамике растворов, фазовым и химическим равновесиям (часть II). Задания, включенные в настоящий сборник, апробированы на кафедре физической химии Воронежского государственного университета.)

**Кравченко Т.А., Введенский А.В., Козадеров О.А. Сборник примеров и задач по физической химии. Химическая термодинамика (часть II). – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2002. – 67 с. <http://window.edu.ru/resource/482/27482>**

(Сборник содержит фундаментальные положения и уравнения, необходимые для понимания и решения задач по химической термодинамике. В нем приведено большое количество примеров с подробным изложением хода решения задач. Даны наиболее типичные задачи и ответы на них по термохимии и термодинамическим потенциалам химических процессов (часть I), термодинамике растворов, фазовым и химическим равновесиям (часть II). Задания, включенные в настоящий сборник, апробированы на кафедре физической химии Воронежского государственного университета.)

**Пурмаль А.П. Химическая кинетика: Учебное пособие. – М.: МФТИ, 2000. – 80 с. <http://window.edu.ru/resource/020/39020>**

(В учебном пособии рассмотрены основные понятия и определения эмпирической кинетики, методы определения порядков реакций и констант скорости реакций различных типов в закрытых и открытых системах. Описаны методы изучения быстрых реакций. Рассмотрены типы химических частиц и их характерные реакции. Задачи и вопросы, сопровождающие каждый раздел, рекомендуются для самопроверки и проработки на семинарских занятиях по курсу "Основы химической физики". Учебное пособие адресовано студентам 3 курса (5 семестр) факультета молекулярной и биологической физики Московского физико-технического института.)

**Колпакова Н.А. Сборник задач по химической кинетике / Н.А. Колпакова, С.В. Романенко, В.А. Колпаков. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 280 с. <http://window.edu.ru/resource/675/75675>**

(Пособие подготовлено на кафедре физической и аналитической химии Томского политехнического университета и содержит более 40 примеров задач с решениями и более 400 задач для самостоятельного решения по разделам "Кинетика химических реакций" и "Катализ" в курсе физической химии. Сборник предназначен для студентов химических специальностей вузов.)

Для самостоятельного подбора литературы рекомендуется использовать:

1. [http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php) Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ: более 3000 полных текстов учебных и учебно-методических материалов по основным изучаемым дисциплинам, изданных в университете.
2. <https://urait.ru/> Электронно-библиотечная система «Юрайт»: мультидисциплинарный ресурс (учебная, научная и художественная литература, периодика)
3. <http://window.edu.ru/catalog> Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам": свободный доступ к интегральному каталогу образовательных интернет-ресурсов и к электронной библиотеке учебно-методических материалов для общего и профессионального образования.