

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии  
высокочистых веществ им. Г.Г.Девярых Российской академии наук

ПРИНЯТО

Ученым советом ИХВВ РАН

Протокол № 6 от « 30 » 06 2015 г.

Ученый секретарь, д.х.н. Лазукина О.П.

---

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИХВВ РАН

академик Чурбанов М.Ф.

---

«30» 06 2015 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**Физическая химия (кандидатский минимум)**

Направление подготовки  
**04.06.01 «Химические науки»**

Направленность подготовки  
**02.00.04 «Физическая химия»**

Квалификация выпускника  
**Исследователь. Преподаватель-исследователь**

Форма обучения  
**очная**

Нижний Новгород  
2015

## 1. Место дисциплины (модуля) в структуре основной образовательной программы (ООП)

Дисциплина «Физическая химия (кандидатский минимум)» является обязательной дисциплиной.

Освоение курса опирается на знания, умения, навыки и компетенции, сформированные на двух предшествующих уровнях образования по курсам:

- "Физическая химия" (основы термодинамики, кинетики, владение основными законами физической химии);
- "Физические методы исследования";
- "Неорганическая химия" (знания о составе, строении и свойствах основных классов неорганических соединений);
- "Химическая технология" (физико-химические основы современного химического производства).

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ООП (компетенциями выпускников)

**Таблица 1**

### Планируемые результаты обучения по дисциплине

Код формируемой компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
ПК-2	<p><i>З1 Знать:</i> современное состояние науки в области физической химии и в смежных областях.</p> <p><i>З2 Знать:</i> требования к содержанию и правила оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях.</p> <p><i>У1 Уметь:</i> представлять научные результаты по теме диссертационной работы в виде публикаций в рецензируемых научных изданиях.</p> <p><i>У2 Уметь:</i> представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому и бизнес-сообществу.</p> <p><i>В1 Владеть:</i> методами планирования, подготовки, проведения НИР, анализа полученных данных, формулировки выводов и рекомендаций по направленности (научной специальности).</p>
ПК-3	<p><i>З1 Знать:</i> Требования к корректному выбору методов обработки экспериментальных данных и/или методов численного моделирования химических процессов; современные направления развития методом обработки экспериментальных данных и/или методов численного моделирования в своей профессиональной области.</p> <p><i>У1 Уметь:</i> Корректно использовать современные методы обработки экспериментальных данных и/или современные методы численного моделирования сложных химических процессов в своей профессиональной области.</p> <p><i>В1 Владеть:</i> Современными методами обработки экспериментальных данных и/или современными методами</p>

	численного моделирования химических процессов; систематическими знаниями в области современных методов обработки экспериментальных данных в области физической химии.
<i>ПК-4</i>	<p><i>З1 Знать:</i> основные приемы химического эксперимента, методы получения веществ и исследования их физико-химических свойств</p> <p><i>У1 Уметь:</i> осуществлять исследования химических и физико-химических процессов</p> <p><i>В1 Владеть:</i> навыками разработки фундаментальных основ технологических процессов получения материалов</p>
<i>ПК-5</i>	<p><i>З1 Знать:</i> химические, физические и технические аспекты химических промышленных процессов; основные требования правил безопасности при работе с оборудованием различных классов сложности и опасности; цели и задачи научных исследований по направлению деятельности, базовые принципы и методы их организации; требования к представлению отчетных материалов; основные методы обработки экспериментальных данных.</p> <p><i>У1 Уметь:</i> Использовать новое сложное технологическое (в том числе – нанотехнологическое) оборудование для получения перспективных материалов (в том числе – наноматериалов) различного функционального назначения; использовать современное оборудование, а также результаты фундаментальных и прикладных исследований для разработки новых методик аттестации структуры и свойств перспективных материалов различного функционального назначения.</p> <p><i>В1 Владеть:</i> Навыками работы со сложным исследовательским, контрольно-измерительным и технологическим оборудованием (в том числе – нанотехнологическим оборудованием мирового уровня).</p> <p><i>В2 Владеть:</i> навыками разработки и верификации новых методик аттестации структуры и свойств конструкционных и многофункциональных материалов (в том числе – наноматериалов)</p>

### 3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 5 зачетных единиц, всего 180 часов, из которых 72 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (72 часа лекции), 72 часа составляет самостоятельная работа обучающегося, 36 часов - мероприятия промежуточной аттестации (экзамен).

## Структура дисциплины

Наименование раздела дисциплины	Всего, часов	В том числе					Самостоятельная работа обучающегося, часов
		Контактная работа, часов					
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	
Химическая термодинамика	72	36	-	-	-	36	36
Кинетика химических реакций	72	36	-	-	-	36	36
Аттестация по дисциплине: экзамен	36						
<b>Итого</b>	<b>180</b>	<b>72</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>72</b>	<b>72</b>

## 3.1. Содержание разделов дисциплины

## Раздел 1. Химическая термодинамика

1.1. Основные понятия и законы термодинамики: изолированные и открытые системы, равновесные и неравновесные системы, термодинамические переменные, температура, интенсивные и экстенсивные переменные. Уравнения состояния. Теорема о соответственных состояниях. Виральные уравнения состояния.

1.2. Первый закон термодинамики. Теплота, работа, внутренняя энергия, энтальпия, теплоемкость. Закон Гесса. Стандартные состояния и стандартные теплоты химических реакций. Зависимость теплового эффекта реакции от температуры. Формула Кирхгофа. Таблицы стандартных термодинамических величин и их использование в термодинамических расчетах.

1.3. Второй закон термодинамики. Энтропия и её изменения в обратимых и необратимых процессах. Теорема Карно – Клаузиуса. Различные шкалы температур.

1.4. Фундаментальные уравнения Гиббса. Характеристические функции. Энергия Гиббса, энергия Гельмгольца. Уравнения Максвелла. Условия равновесия и критерии самопроизвольного протекания процессов. Уравнение Гиббса – Гельмгольца. Работа и теплота химического процесса. Химические потенциалы.

1.5. Химическое равновесие. Закон действующих масс. Различные виды констант равновесия и связь между ними. Изотерма Вант-Гоффа. Уравнения изобары и изохоры химической реакции. Расчеты констант равновесия химических реакций с использованием таблиц стандартных значений термодинамических функций. Приведенная энергия Гиббса и её использование для расчетов химических равновесий. Равновесие в поле внешних сил. Полные потенциалы.

1.6. Элементы статистической термодинамики. Микро- и макросостояния химических систем. Фазовые Г- и  $\mu$ -пространства. Эргодическая гипотеза. Термодинамическая вероятность и её связь с энтропией. Распределение Максвелла-Больцмана. Статистические средние значения макроскопических величин. Ансамбли Гиббса. Микроканоническое и каноническое распределения. Расчет числа состояний в квазиклассическом приближении. Каноническая функция распределения

Гиббса. Сумма по состояниям как статистическая характеристическая функция. Статистические выражения для основных термодинамических функций. Молекулярная сумма по состояниям и сумма по состояниям макроскопической системы. Поступательная, вращательная, электронная и колебательная суммы по состояниям. Статистический расчет энтропии. Постулат Планка и абсолютная энтропия. Приближение «жесткий ротатор – гармонический осциллятор». Составляющие внутренней энергии, теплоёмкости и энтропии, обусловленные поступательным, вращательным и колебательным движением. Расчет констант равновесия химических реакций в идеальных газах методом статистической термодинамики. Статистическая термодинамика реальных систем. Потенциалы межмолекулярного взаимодействия и конфигурационный интеграл для реального газа. Распределения Бозе-Эйнштейна и Ферми – Дирака. Вырожденный идеальный газ. Электроны в металлах. Уровень Ферми. Статистическая теория Эйнштейна идеального кристалла, теория Дебая. Точечные дефекты кристаллических решеток. Равновесные и неравновесные дефекты. Вычисление сумм по состояниям для кристаллов с различными точечными дефектами. Нестехиометрические соединения и их термодинамическое описание.

1.7. Элементы термодинамики необратимых процессов. Основные положения термодинамики неравновесных процессов. Локальное равновесие. Флуктуации. Функция диссипации. Потoki и силы. Скорость производства энтропии. Зависимость скорости производства энтропии от обобщенных потоков и сил. Соотношения взаимности Онсагера. Стационарное состояние системы и теорема Пригожина. Термодиффузия и её описание в неравновесной термодинамике. Уравнение Чепмена-Энскога.

1.8. Растворы. Фазовые равновесия. Различные типы растворов. Способы выражения состава растворов. Идеальные растворы, общее условие идеальности растворов. Давление насыщенного пара жидких растворов, закон Рауля. Неидеальные растворы и их свойства. Метод активностей. Коэффициенты активности и их определение. Стандартные состояния при определении химических потенциалов компонент растворов. Симметричная и несимметричная системы отсчета. Коллигативные свойства растворов. Изменение температуры замерзания растворов, криоскопия. Зонная плавка. Осмотические явления. Парциальные молярные величины, их определение для бинарных систем. Уравнение Гиббса-Дюгема. Функция смешения для идеальных и неидеальных растворов. Предельно разбавленные растворы, атермальные и регулярные растворы, их свойства.

1.9. Гетерогенные системы. Понятия компонента, фазы, степени свободы. Правило фаз Гиббса. Однокомпонентные системы. Диаграммы состояния воды, серы, фосфора и углерода. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Двухкомпонентные системы. Различные диаграммы состояния двухкомпонентных систем. Равновесие жидкость – пар в двухкомпонентных системах. Законы Гиббса – Коновалова. Азеотропные смеси. Фазовые переходы второго рода. Уравнения Эренфеста. Трехкомпонентные системы. Треугольник Гиббса. Диаграммы плавкости трехкомпонентных систем.

1.10. Адсорбция и поверхностные явления. Адсорбция. Адсорбент, адсорбат. Виды адсорбции. Структура поверхности и пористость адсорбента. Локализованная и делокализованная адсорбция. Мономолекулярная и полимолекулярная адсорбция. Динамический характер адсорбционного равновесия. Изотермы и изобары адсорбции. Уравнение Генри. Константа адсорбционного равновесия. Уравнение Ленгмюра. Адсорбция из растворов. Уравнение Брунауэра – Эмета – Теллера (БЭТ) для полимолекулярной адсорбции. Определение площади поверхности адсорбента. Хроматография, различные её типы (газовая, жидкостная, противоточная и др.). Поверхность раздела фаз. Свободная поверхностная энергия, поверхностное натяжение, избыточные термодинамические функции поверхностного слоя. Изменение поверхностного натяжения на границе жидкость – пар в зависимости от температуры. Связь свободной поверхностной энергии с теплотой сублимации (правило Стефана), модулем упругости и другими свойствами вещества. Эффект Ребиндера: изменение прочности и пластичности твердых тел вследствие снижения их поверхностной энергии.

Капиллярные явления. Зависимость давления пара от кривизны поверхности жидкости. Капиллярная конденсация. Зависимость растворимости от кривизны поверхности растворяющихся частиц (закон Гиббса – Оствальда – Фрейндлиха).

1.11. Электрохимические процессы. Растворы электролитов. Ион-дипольное взаимодействие, как основной процесс, определяющий устойчивость растворов электролитов. Коэффициенты активности в растворах электролитов. Средняя активность и средний коэффициент активности, их связь с активностью отдельных ионов. Основные положения теории Дебая – Хюккеля. Потенциал ионной атмосферы. Условия электрохимического равновесия на границе раздела фаз и в электрохимической цепи. Термодинамика гальванического элемента. Электродвижущая сила, её выражение через энергию Гиббса реакции в элементе. Уравнения Нернста и Гиббса – Гельмгольца для равновесной электрохимической цепи. Понятие электродного потенциала. Определение коэффициентов активности на основе измерений ЭДС гальванического элемента. Электропроводность растворов электролитов; удельная и эквивалентная электропроводность. Числа переноса, подвижность ионов и закон Кольрауша. Электрофоретический и релаксационные эффекты.

## **Раздел 2. Кинетика химических реакций**

2.1. *Основные понятия химической кинетики.* Простые и сложные реакции, молекулярность и скорость простой реакции. Основной постулат химической кинетики. Способы определения скорости реакции. Кинетические кривые. Кинетические уравнения. Константа скорости и порядок реакции. Реакции переменного порядка.

2.2. *Феноменологическая кинетика* сложных химических реакций. Принцип независимости элементарных стадий. Кинетические уравнения для обратимых, параллельных и последовательных реакций. Квазистационарное приближение. Метод Боденштейна-Тёмкина. Кинетика гомогенных каталитических и ферментативных реакций. Уравнение Михаэлиса-Ментен.

Цепные реакции. Кинетика неразветвленных и разветвленных цепных реакций. Кинетические особенности разветвленных цепных реакций. Предельные явления в разветвленных цепных реакциях. Полуостров воспламенения, период индукции. Тепловой взрыв.

Реакции в потоке. Реакции идеального вытеснения и идеального смешения. Колебательные реакции.

2.3. *Макрокинетика.* Роль диффузии в кинетике гетерогенных реакций. Кинетика гетерогенных каталитических реакций. Различные режимы протекания реакций (кинетическая и внешняя кинетическая области, области внешней и внутренней диффузии).

2.4. Зависимость скорости реакции от температуры. Уравнение Аррениуса. Энергия активации и способы её определения.

2.5. *Элементарные акты химических реакций* и физический смысл энергии активации. Термический и нетермические пути активации молекул. Обмен энергией (поступательной, вращательной и колебательной) при столкновениях молекул. Время релаксации в молекулярных системах.

Теория активных столкновений. Сечение химических реакций. Формула Траутца-Льюиса. Расчет предэкспоненциального множителя по молекулярным постоянным. Стерический фактор.

Теория переходного состояния (активированного комплекса). Поверхность потенциальной энергии. Путь и координата реакции. Статистический расчет константы скорости. Энергия и энтропия активации. Использование молекулярных постоянных при расчете константы скорости.

2.6. *Различные типы химических реакций.* Мономолекулярные реакции в газах, схема Линдемана – Христиансена. Теория РРКМ. Бимолекулярные и тримолекулярные реакции, зависимость предэкспоненциального множителя от температуры.

Реакции в растворах, влияние растворителя и заряда реагирующих частиц. Клеточный эффект и сольватация.

Фотохимические и радиационнохимические реакции. Элементарные фотохимические процессы. Эксимеры и эксиплексы. Изменение физических и химических свойств молекул при электронном возбуждении. Квантовый выход. Закон Эйнштейна-Штарка.

2.7. Электрохимические реакции. Двойной электрический слой. Модельные представления о структуре двойного электрического слоя. Теория Гуи – Чапмена – Грэма.

Электрокапллярные явления, уравнение Липпмана.

Скорость и стадии электродного процесса. Поляризация электродов. Полярография. Ток обмена и перенапряжение. Зависимость скорости стадии разряда от строения двойного слоя.

Химические источники тока, их виды. Электрохимическая коррозия. Методы защиты от коррозии.

2.8. *Классификация каталитических реакций* и катализаторов. Теория промежуточных соединений в катализе, принцип энергетического соответствия.

2.9. *Гомогенный катализ.* Кислотно-основной катализ. Кинетика и механизм реакций специфического кислотного катализа. Функции кислотности Гаммета. Кинетика и механизм реакций общего кислотного катализа. Уравнение Брэнстеда. Корреляционные уравнения для энергий активации и теплот реакций. Специфический и общий основной катализ. Нуклеофильный и электрофильный катализ.

Катализ металлокомплексными соединениями. Гомогенные реакции гидрирования, их кинетика и механизмы.

2.10. *Ферментативный катализ.* Адсорбционные и каталитические центры ферментов. Активность и субстратная селективность ферментов. Коферменты. Механизмы ферментативного катализа.

2.11. *Гетерогенный катализ.* Определение скорости гетерогенной каталитической реакции. Удельная и атомная активность. Селективность катализаторов. Роль адсорбции в кинетике гетерогенных каталитических реакций. Неоднородность поверхности катализаторов, нанесенные катализаторы. Энергия активации гетерогенных каталитических реакций. Современные теории функционирования гетерогенных катализаторов.

Основные промышленные каталитические процессы.

#### **4. Образовательные технологии**

Для достижения планируемых результатов обучения, в дисциплине используются различные образовательные технологии:

информационно-развивающие технологии (самостоятельное изучение литературы, применение новых информационных технологий для самостоятельного пополнения знаний, включая использование технических и электронных средств информации);

деятельностные практико-ориентированные технологии (анализ, сравнение методов проведения химических и физико-химических исследований, выбор метода, в зависимости от объекта исследования в конкретной ситуации и его практическая реализация); развивающие проблемно-ориентированные технологии (учебные дискуссии, коллективная мыслительная деятельность, решение задач повышенной сложности). Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.

## 5. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

Целью самостоятельной работы является овладение навыками работы с литературой (в читальном зале библиотеки, с доступом к ресурсам Интернет), более углубленное изучение отдельных разделов дисциплины при подготовке к написанию реферата, подготовке к экзамену. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций.

Текущий контроль успеваемости осуществляется в форме опроса.

Итоговый контроль проводится в виде экзамена.

Контрольные вопросы к экзамену:

1. Основные понятия и законы термодинамики: изолированные и открытые системы, равновесные и неравновесные системы, термодинамические переменные, температура, интенсивные и экстенсивные переменные. Уравнения состояния. Теорема о соответственных состояниях. Вириальные уравнения состояния.
2. Первый закон термодинамики. Теплота, работа, внутренняя энергия, энтальпия, теплоемкость. Закон Гесса. Стандартные состояния и стандартные теплоты химических реакций. Зависимость теплового эффекта реакции от температуры. Формула Кирхгоффа.
3. Таблицы стандартных термодинамических величин и их использование в термодинамических расчетах.
4. Второй закон термодинамики. Теорема Карно-Клаузиуса.
5. Энтропия и её изменения в обратимых и необратимых процессах.
6. Различные шкалы температур.
7. Фундаментальные уравнения Гиббса. Характеристические функции. Энергия Гиббса, энергия Гельмгольца.
8. Уравнения Максвелла. Химические потенциалы. Условия равновесия и критерии самопроизвольного протекания процессов.
9. Уравнение Гиббса – Гельмгольца. Работа и теплота химического процесса.
10. Химическое равновесие. Закон действующих масс. Различные виды констант равновесия и связь между ними. Изотерма Вант-Гоффа.
11. Уравнения изобары и изохоры химической реакции. Расчеты констант равновесия химических реакций с использованием таблиц стандартных значений термодинамических функций.
12. Приведенная энергия Гиббса и её использование для расчетов химических равновесий.
13. Равновесие в поле внешних сил. Полные потенциалы.
14. Элементы статистической термодинамики. Микро- и макросостояния химических систем. Фазовые Г- и  $\mu$ -пространства. Эргодическая гипотеза. Термодинамическая вероятность и её связь с энтропией. Распределение Максвелла-Больцмана. Статистические средние значения макроскопических величин.
15. Ансамбли Гиббса. Микроканоническое и каноническое распределения. Расчет числа состояний в квазиклассическом приближении. Каноническая функция распределения Гиббса. Сумма по состояниям как статистическая характеристическая функция.



16. Статистические выражения для основных термодинамических функций.
17. Молекулярная сумма по состояниям и сумма по состояниям макроскопической системы. Поступательная, вращательная, электронная и колебательная суммы по состояниям. Статистический расчет энтропии. Постулат Планка и абсолютная энтропия.
18. Приближение «жесткий ротатор – гармонический осциллятор». Составляющие внутренней энергии, теплоёмкости и энтропии, обусловленные поступательным, вращательным и колебательным движением.
19. Расчет констант равновесия химических реакций в идеальных газах методом статистической термодинамики.
20. Статистическая термодинамика реальных систем. Потенциалы межмолекулярного взаимодействия и конфигурационный интеграл для реального газа. Распределения Бозе-Эйнштейна и Ферми – Дирака. Вырожденный идеальный газ.
21. Электроны в металлах. Уровень Ферми. Статистическая теория Эйнштейна идеального кристалла, теория Дебая. Точечные дефекты кристаллических решеток. Равновесные и неравновесные дефекты. Вычисление сумм по состояниям для кристаллов с различными точечными дефектами. Нестехиометрические соединения и их термодинамическое описание.
22. Элементы термодинамики необратимых процессов. Основные положения термодинамики неравновесных процессов. Локальное равновесие. Флуктуации. Функция диссипации.
23. Потоки и силы. Скорость производства энтропии. Зависимость скорости производства энтропии от обобщенных потоков и сил.
24. Соотношения взаимности Онзагера. Стационарное состояние системы и теорема Пригожина.
25. Термодиффузия и её описание в неравновесной термодинамике. Уравнение Чепмена-Энскога.
26. Различные типы растворов. Способы выражения состава растворов. Идеальные растворы, общее условие идеальности растворов.
27. Давление насыщенного пара жидких растворов, закон Рауля.
28. Неидеальные растворы и их свойства. Метод активностей. Коэффициенты активности и их определение.
29. Стандартные состояния при определении химических потенциалов компонент растворов. Симметричная и несимметричная системы отсчета.
30. Коллигативные свойства растворов. Изменение температуры замерзания растворов, криоскопия. Зонная плавка. Осмотические явления.
31. Парциальные мольные величины, их определение для бинарных систем. Уравнение Гиббса-Дюгема.
32. Функция смешения для идеальных и неидеальных растворов. Предельно разбавленные растворы, атермальные и регулярные растворы, их свойства.
33. Гетерогенные системы. Понятия компонента, фазы, степени свободы. Правило фаз Гиббса.
34. Однокомпонентные системы. Диаграммы состояния воды, серы, фосфора и углерода.
35. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.
36. Двухкомпонентные системы. Различные диаграммы состояния двухкомпонентных систем.
37. Равновесие жидкость – пар в двухкомпонентных системах. Законы Гиббса – Коновалова. Азеотропные смеси.
38. Фазовые переходы второго рода. Уравнения Эренфеста.
39. Трехкомпонентные системы. Треугольник Гиббса. Диаграммы плавкости трехкомпонентных систем.
40. Адсорбция. Адсорбент, адсорбат. Виды адсорбции. Структура поверхности и пористость адсорбента. Локализованная и делокализованная адсорбция. Мономолекулярная и полимолекулярная адсорбция. Динамический характер адсорбционного равновесия. Изотермы и изобары адсорбции. Уравнение Генри.
41. Константа адсорбционного равновесия. Уравнение Ленгмюра.
42. Адсорбция из растворов. Уравнение Брунауэра – Эмета – Теллера (БЭТ) для полимолекулярной адсорбции. Определение площади поверхности адсорбента.
43. Хроматография, различные её типы (газовая, жидкостная, противоточная и др.).

44. Поверхность раздела фаз. Свободная поверхностная энергия, поверхностное натяжение, избыточные термодинамические функции поверхностного слоя. Изменение поверхностного натяжения на границе жидкость – пар в зависимости от температуры.
45. Связь свободной поверхностной энергии с теплотой сублимации (правило Стефана), модулем упругости и другими свойствами вещества.
46. Эффект Ребиндера: изменение прочности и пластичности твердых тел вследствие снижения их поверхностной энергии. Капиллярные явления.
47. Зависимость давления пара от кривизны поверхности жидкости. Капиллярная конденсация. Зависимость растворимости от кривизны поверхности растворяющихся частиц (закон Гиббса – Оствальда – Фрейндлиха).
48. Растворы электролитов. Ион-дипольное взаимодействие, как основной процесс, определяющий устойчивость растворов электролитов.
49. Коэффициенты активности в растворах электролитов. Средняя активность и средний коэффициент активности, их связь с активностью отдельных ионов.
50. Основные положения теории Дебая – Хюккеля. Потенциал ионной атмосферы.
51. Условия электрохимического равновесия на границе раздела фаз и в электрохимической цепи.
52. Термодинамика гальванического элемента. Электродвижущая сила, её выражение через энергию Гиббса реакции в элементе.
53. Уравнения Нернста и Гиббса-Гельмгольца для равновесной электрохимической цепи.
54. Понятие электродного потенциала. Определение коэффициентов активности на основе измерений ЭДС гальванического элемента.
55. Электропроводность растворов электролитов; удельная и эквивалентная электропроводность. Числа переноса, подвижность ионов и закон Кольрауша. Электрофоретический и релаксационные эффекты.
56. Основные понятия химической кинетики. Простые и сложные реакции, молекулярность и скорость простой реакции. Основной постулат химической кинетики. Способы определения скорости реакции. Кинетические кривые. Кинетические уравнения. Константа скорости и порядок реакции. Реакции переменного порядка.
57. Феноменологическая кинетика сложных химических реакций. Принцип независимости элементарных стадий. Кинетические уравнения для обратимых, параллельных и последовательных реакций.
58. Квазистационарное приближение. Метод Боденштейна-Тёмкина. Кинетика гомогенных каталитических и ферментативных реакций. Уравнение Михаэлиса-Ментен.
59. Цепные реакции. Кинетика неразветвленных и разветвленных цепных реакций. Кинетические особенности разветвленных цепных реакций. Предельные явления в разветвленных цепных реакциях. Полуостров воспламенения, период индукции. Тепловой взрыв.
60. Реакции в потоке. Реакции идеального вытеснения и идеального смешения. Колебательные реакции.
61. Макрокинетика. Роль диффузии в кинетике гетерогенных реакций. Кинетика гетерогенных каталитических реакций. Различные режимы протекания реакций (кинетическая и внешняя кинетическая области, области внешней и внутренней диффузии).
62. Зависимость скорости реакции от температуры. Уравнение Аррениуса. Энергия активации и способы её определения.
63. Элементарные акты химических реакций и физический смысл энергии активации. Термический и нетермический пути активации молекул. Обмен энергией (поступательной, вращательной и колебательной) при столкновениях молекул. Время релаксации в молекулярных системах.
64. Теория активных столкновений. Сечение химических реакций. Формула Траутца-Льюиса. Расчет предэкспоненциального множителя по молекулярным постоянным. Стерический фактор.
65. Теория переходного состояния (активированного комплекса). Поверхность потенциальной энергии. Путь и координата реакции. Статистический расчет константы скорости. Энергия и

энтропия активации. Использование молекулярных постоянных при расчете константы скорости.

66. Различные типы химических реакций. Мономолекулярные реакции в газах, схема Линдемана – Христиансена. Теория РРKM. Бимолекулярные и тримолекулярные реакции, зависимость предэкспоненциального множителя от температуры.
67. Реакции в растворах, влияние растворителя и заряда реагирующих частиц. Клеточный эффект и сольватация.
68. Фотохимические и радиационнохимические реакции. Элементарные фотохимические процессы. Эксимеры и эксиплексы. Изменение физических и химических свойств молекул при электронном возбуждении. Квантовый выход. Закон Эйнштейна-Штарка.
69. Электрохимические реакции. Двойной электрический слой. Модельные представления о структуре двойного электрического слоя. Теория Гуи – Чапмена – Грэма.
70. Электрокаплярные явления, уравнение Липпмана.
71. Скорость и стадии электродного процесса. Поляризация электродов. Полярография. Ток обмена и перенапряжение. Зависимость скорости стадии разряда от строения двойного слоя.
72. Химические источники тока, их виды.
73. Электрохимическая коррозия. Методы защиты от коррозии.
74. Классификация каталитических реакций и катализаторов. Теория промежуточных соединений в катализе, принцип энергетического соответствия.
75. Кислотно-основной катализ. Кинетика и механизм реакций специфического кислотного катализа. Функции кислотности Гаммета. Кинетика и механизм реакций общего кислотного катализа. Уравнение Брэнстеда. Корреляционные уравнения для энергий активации и теплот реакций. Специфический и общий основной катализ. Нуклеофильный и электрофильный катализ.
76. Катализ металлокомплексными соединениями. Гомогенные реакции гидрирования, их кинетика и механизмы.
77. Ферментативный катализ. Адсорбционные и каталитические центры ферментов. Активность и субстратная селективность ферментов. Коферменты. Механизмы ферментативного катализа.
78. Гетерогенный катализ. Определение скорости гетерогенной каталитической реакции. Удельная и атомная активность. Селективность катализаторов. Роль адсорбции в кинетике гетерогенных каталитических реакций. Неоднородность поверхности катализаторов, нанесенные катализаторы.
79. Гетерогенный катализ. Энергия активации гетерогенных каталитических реакций. Современные теории функционирования гетерогенных катализаторов.
80. Основные промышленные каталитические процессы.

## **6. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине**

### ***6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования***

Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования приведен в приложении 1.

### ***6.2. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине. Описание шкал оценивания***

Промежуточный контроль качества усвоения содержания дисциплины проводится в виде комплексного экзамена, на котором определяется:

- уровень усвоения основного учебного материала по дисциплине;

- уровень понимания изученного материала;
- способности аспиранта использовать полученные знания для решения конкретных задач.

Экзамен проводится в устной форме в виде ответа обучающегося на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой) и последующим собеседованием в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые аспирант должен дать полный и развернутый ответ.

К экзамену допускаются обучающиеся, написавшие реферат по предлагаемой преподавателем теме.

Для проведения промежуточного контроля сформированности компетенции используется: ответ по билету на экзамене.

Оценка	Уровень подготовки
Отлично	Высокий уровень подготовки с незначительными ошибками. Аспирант дал полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета, подтверждая тем самым владение теоретическим материалом.
Хорошо	Хорошая подготовка. Аспирант дал полный ответ на все теоретические вопросы билета, но допустил небольшие неточности в определениях понятий, процессов и т.п.
Удовлетворительно	Минимально достаточный уровень подготовки. Аспирант показал минимальный уровень теоретических знаний, сделал существенные ошибки при ответе на экзаменационный вопрос, но при ответах на наводящие вопросы, смог правильно сориентироваться и в общих чертах дать правильный ответ.
Неудовлетворительно	Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Аспирант дал ошибочные ответы, как на теоретические вопросы билета, так и на наводящие и дополнительные вопросы экзаменатора.

### ***6.3. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, необходимых для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций.***

Уровни освоения дисциплины оцениваются согласно требованиям, изложенным в паспорте каждой из указанных компетенций, где указаны критерии оценивания результатов обучения и Планируемые результаты обучения.

Контрольные вопросы к экзамену:

1. Основные понятия и законы термодинамики: изолированные и открытые системы, равновесные и неравновесные системы, термодинамические переменные, температура, интенсивные и экстенсивные переменные. Уравнения состояния. Теорема о соответственных состояниях. Вириальные уравнения состояния (ПК-2) (ПК-3).

2. Первый закон термодинамики. Теплота, работа, внутренняя энергия, энтальпия, теплоемкость. Закон Гесса. Стандартные состояния и стандартные теплоты химических реакций. Зависимость теплового эффекта реакции от температуры. Формула Кирхгоффа (ПК-2) (ПК-3).
3. Таблицы стандартных термодинамических величин и их использование в термодинамических расчетах (ПК-3).
4. Второй закон термодинамики. Теорема Карно-Клаузиуса (ПК-2) (ПК-3).
5. Энтропия и её изменения в обратимых и необратимых процессах (ПК-3) (ПК-2).
6. Различные шкалы температур (ПК-3).
7. Фундаментальные уравнения Гиббса. Характеристические функции. Энергия Гиббса, энергия Гельмгольца (ПК-3) (ПК-2).
8. Уравнения Максвелла. Химические потенциалы. Условия равновесия и критерии самопроизвольного протекания процессов (ПК-3) (ПК-2).
9. Уравнение Гиббса – Гельмгольца. Работа и теплота химического процесса (ПК-2) (ПК-3).
10. Химическое равновесие. Закон действующих масс. Различные виды констант равновесия и связь между ними. Изотерма Вант-Гоффа (ПК-2) (ПК-3).
11. Уравнения изобары и изохоры химической реакции. Расчеты констант равновесия химических реакций с использованием таблиц стандартных значений термодинамических функций (ПК-2) (ПК-3).
12. Приведенная энергия Гиббса и её использование для расчетов химических равновесий (ПК-3).
13. Равновесие в поле внешних сил. Полные потенциалы (ПК-2).
14. Элементы статистической термодинамики. Микро- и макросостояния химических систем. Фазовые Г- и  $\mu$ -пространства. Эргодическая гипотеза. Термодинамическая вероятность и её связь с энтропией. Распределение Максвелла-Больцмана. Статистические средние значения макроскопических величин (ПК-2) (ПК-3).
15. Ансамбли Гиббса. Микроканоническое и каноническое распределения. Расчет числа состояний в квазиклассическом приближении. Каноническая функция распределения Гиббса. Сумма по состояниям как статистическая характеристическая функция (ПК-2).
16. Статистические выражения для основных термодинамических функций (ПК-2).
17. Молекулярная сумма по состояниям и сумма по состояниям макроскопической системы. Поступательная, вращательная, электронная и колебательная суммы по состояниям. Статистический расчет энтропии. Постулат Планка и абсолютная энтропия (ПК-2).
18. Приближение «жесткий ротатор – гармонический осциллятор». Составляющие внутренней энергии, теплоёмкости и энтропии, обусловленные поступательным, вращательным и колебательным движением (ПК-2).
19. Расчет констант равновесия химических реакций в идеальных газах методом статистической термодинамики (ПК-2).
20. Статистическая термодинамика реальных систем. Потенциалы межмолекулярного взаимодействия и конфигурационный интеграл для реального газа. Распределения Бозе-Эйнштейна и Ферми – Дирака. Вырожденный идеальный газ (ПК-2).
21. Электроны в металлах. Уровень Ферми. Статистическая теория Эйнштейна идеального кристалла, теория Дебая. Точечные дефекты кристаллических решеток. Равновесные и неравновесные дефекты. Вычисление сумм по состояниям для кристаллов с различными точечными дефектами. Нестехиометрические соединения и их термодинамическое описание (ПК-2).
22. Элементы термодинамики необратимых процессов. Основные положения термодинамики неравновесных процессов. Локальное равновесие. Флуктуации. Функция диссипации (ПК-2).
23. Потоки и силы. Скорость производства энтропии. Зависимость скорости производства энтропии от обобщенных потоков и сил (ПК-2).
24. Соотношения взаимности Онзагера. Стационарное состояние системы и теорема Пригожина (ПК-2).
25. Термодиффузия и её описание в неравновесной термодинамике. Уравнение Чепмена-Энскога (ПК-2).

26. Различные типы растворов. Способы выражения состава растворов. Идеальные растворы, общее условие идеальности растворов (ПК-2).
27. Давление насыщенного пара жидких растворов, закон Рауля (ПК-2).
28. Неидеальные растворы и их свойства. Метод активностей. Коэффициенты активности и их определение (ПК-2).
29. Стандартные состояния при определении химических потенциалов компонент растворов. Симметричная и несимметричная системы отсчета (ПК-2).
30. Коллигативные свойства растворов. Изменение температуры замерзания растворов, криоскопия. Зонная плавка. Осмотические явления (ПК-2).
31. Парциальные мольные величины, их определение для бинарных систем. Уравнение Гиббса-Дюгема (ПК-2).
32. Функция смешения для идеальных и неидеальных растворов. Предельно разбавленные растворы, атермальные и регулярные растворы, их свойства (ПК-2).
33. Гетерогенные системы. Понятия компонента, фазы, степени свободы. Правило фаз Гиббса (ПК-2).
34. Однокомпонентные системы. Диаграммы состояния воды, серы, фосфора и углерода (ПК-3).
35. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса (ПК-2).
36. Двухкомпонентные системы. Различные диаграммы состояния двухкомпонентных систем (ПК-3).
37. Равновесие жидкость – пар в двухкомпонентных системах. Законы Гиббса – Коновалова. Азеотропные смеси (ПК-3).
38. Фазовые переходы второго рода. Уравнения Эренфеста (ПК-2).
39. Трехкомпонентные системы. Треугольник Гиббса. Диаграммы плавкости трехкомпонентных систем (ПК-5).
40. Адсорбция. Адсорбент, адсорбат. Виды адсорбции. Структура поверхности и пористость адсорбента. Локализованная и делокализованная адсорбция. Мономолекулярная и полимолекулярная адсорбция. Динамический характер адсорбционного равновесия. Изотермы и изобары адсорбции. Уравнение Генри (ПК-4) (ПК-5).
41. Константа адсорбционного равновесия. Уравнение Ленгмюра (ПК-2).
42. Адсорбция из растворов. Уравнение Брунауэра – Эмета – Теллера (БЭТ) для полимолекулярной адсорбции. Определение площади поверхности адсорбента (ПК-4) (ПК-2).
43. Хроматография, различные её типы (газовая, жидкостная, противоточная и др.) (ПК-4)(ПК-5).
44. Поверхность раздела фаз. Свободная поверхностная энергия, поверхностное натяжение, избыточные термодинамические функции поверхностного слоя. Изменение поверхностного натяжения на границе жидкость – пар в зависимости от температуры (ПК-4) (ПК-2).
45. Связь свободной поверхностной энергии с теплотой сублимации (правило Стефана), модулем упругости и другими свойствами вещества (ПК-2).
46. Эффект Ребиндера: изменение прочности и пластичности твердых тел вследствие снижения их поверхностной энергии. Капиллярные явления (ПК-2).
47. Зависимость давления пара от кривизны поверхности жидкости. Капиллярная конденсация. Зависимость растворимости от кривизны поверхности растворяющихся частиц (закон Гиббса – Оствальда – Фрейндлиха) (ПК-2).
48. Растворы электролитов. Ион-дипольное взаимодействие, как основной процесс, определяющий устойчивость растворов электролитов (ПК-2).
49. Коэффициенты активности в растворах электролитов. Средняя активность и средний коэффициент активности, их связь с активностью отдельных ионов (ПК-2).
50. Основные положения теории Дебая – Хюккеля. Потенциал ионной атмосферы (ПК-2).
51. Условия электрохимического равновесия на границе раздела фаз и в электрохимической цепи (ПК-2).
52. Термодинамика гальванического элемента. Электродвижущая сила, её выражение через энергию Гиббса реакции в элементе (ПК-2).
53. Уравнения Нернста и Гиббса-Гельмгольца для равновесной электрохимической цепи (ПК-2).

54. Понятие электродного потенциала. Определение коэффициентов активности на основе измерений ЭДС гальванического элемента (ПК-2).
55. Электропроводность растворов электролитов; удельная и эквивалентная электропроводность. Числа переноса, подвижность ионов и закон Кольрауша. Электрофоретический и релаксационные эффекты (ПК-2).
56. Основные понятия химической кинетики. Простые и сложные реакции, молекулярность и скорость простой реакции. Основной постулат химической кинетики. Способы определения скорости реакции. Кинетические кривые. Кинетические уравнения. Константа скорости и порядок реакции. Реакции переменного порядка (ПК-2).
57. Феноменологическая кинетика сложных химических реакций. Принцип независимости элементарных стадий. Кинетические уравнения для обратимых, параллельных и последовательных реакций (ПК-2).
58. Квазистационарное приближение. Метод Боденштейна-Тёмкина. Кинетика гомогенных каталитических и ферментативных реакций. Уравнение Михаэлиса-Ментен (ПК-2).
59. Цепные реакции. Кинетика неразветвленных и разветвленных цепных реакций. Кинетические особенности разветвленных цепных реакций. Предельные явления в разветвленных цепных реакциях. Полуостров воспламенения, период индукции. Тепловой взрыв (ПК-2).
60. Реакции в потоке. Реакции идеального вытеснения и идеального смешения. Колебательные реакции (ПК-2).
61. Макрокинетика. Роль диффузии в кинетике гетерогенных реакций. Кинетика гетерогенных каталитических реакций. Различные режимы протекания реакций (кинетическая и внешняя кинетическая области, области внешней и внутренней диффузии) (ПК-2).
62. Зависимость скорости реакции от температуры. Уравнение Аррениуса. Энергия активации и способы её определения (ПК-2).
63. Элементарные акты химических реакций и физический смысл энергии активации. Термический и нетермические пути активации молекул. Обмен энергией (поступательной, вращательной и колебательной) при столкновениях молекул. Время релаксации в молекулярных системах (ПК-2).
64. Теория активных столкновений. Сечение химических реакций. Формула Траутца-Льюиса. Расчет предэкспоненциального множителя по молекулярным постоянным. Стерический фактор (ПК-2).
65. Теория переходного состояния (активированного комплекса). Поверхность потенциальной энергии. Путь и координата реакции. Статистический расчет константы скорости. Энергия и энтропия активации. Использование молекулярных постоянных при расчете константы скорости (ПК-2).
66. Различные типы химических реакций. Мономолекулярные реакции в газах, схема Линдемана – Христиансена. Теория РРКМ. Бимолекулярные и тримолекулярные реакции, зависимость предэкспоненциального множителя от температуры (ПК-2).
67. Реакции в растворах, влияние растворителя и заряда реагирующих частиц. Клеточный эффект и сольватация (ПК-2).
68. Фотохимические и радиационнохимические реакции. Элементарные фотохимические процессы. Эксимеры и эксиплексы. Изменение физических и химических свойств молекул при электронном возбуждении. Квантовый выход. Закон Эйнштейна-Штарка (ПК-2).
69. Электрохимические реакции. Двойной электрический слой. Модельные представления о структуре двойного электрического слоя. Теория Гуи – Чапмена – Грэма (ПК-2).
70. Электрокаплярные явления, уравнение Липпмана (ПК-2).
71. Скорость и стадии электродного процесса. Поляризация электродов. Полярография. Ток обмена и перенапряжение. Зависимость скорости стадии разряда от строения двойного слоя (ПК-2).
72. Химические источники тока, их виды (ПК-5).
73. Электрохимическая коррозия. Методы защиты от коррозии (ПК-4) (ПК-5).

74. Классификация каталитических реакций и катализаторов. Теория промежуточных соединений в катализе, принцип энергетического соответствия (ПК-2).
75. Кислотно-основной катализ. Кинетика и механизм реакций специфического кислотного катализа. Функции кислотности Гаммета. Кинетика и механизм реакций общего кислотного катализа. Уравнение Брэнстеда. Корреляционные уравнения для энергий активации и теплот реакций. Специфический и общий основной катализ. Нуклеофильный и электрофильный катализ (ПК-2).
76. Катализ металлокомплексными соединениями. Гомогенные реакции гидрирования, их кинетика и механизмы (ПК-5).
77. Ферментативный катализ. Адсорбционные и каталитические центры ферментов. Активность и субстратная селективность ферментов. Коферменты. Механизмы ферментативного катализа (ПК-4) (ПК-5).
78. Гетерогенный катализ. Определение скорости гетерогенной каталитической реакции. Удельная и атомная активность. Селективность катализаторов. Роль адсорбции в кинетике гетерогенных каталитических реакций. Неоднородность поверхности катализаторов, нанесенные катализаторы (ПК-4) (ПК-5).
79. Гетерогенный катализ. Энергия активации гетерогенных каталитических реакций. Современные теории функционирования гетерогенных катализаторов (ПК-5).
80. Основные промышленные каталитические процессы (ПК-4) (ПК-5).
- 81.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

### **а) основная литература:**

1. Высокочистые вещества. Коллектив авторов. Ред.коллегия Чурбанов М.Ф., Карпов Ю.А., Зломанов П.В., Федоров В.А. -М.:»Научный мир», 2018 **в бумажном варианте весь тираж**
2. Еремин В.В., Борщевский А.Я. Основы общей и физической химии. Долгопрудный: Интеллект, 2012. – 848 с. **В бумажном варианте**
3. Борщевский А.Я. Физическая химия. Том 1. Общая и химическая термодинамика. М.: ИНФРА-М, 2017. – 606 с. **В электронной форме**
4. Борщевский А.Я. Физическая химия. Том 2. Статистическая термодинамика. М.: ИНФРА-М, 2017. – 383 с. **В электронной форме**
5. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Цирлина Г.А. Электрохимия. М.: Химия, КолосС, 2006. – 672 с. **В электронной форме**
6. Карякин Н.В. Основы химической термодинамики. М.: Академия, 2003. – 462 с. **В бумажном виде 5 экз.**
7. Эмануэль Н.М., Кнорре Д.Г. Курс химической кинетики. М.: Высшая школа, 1984. – 463 с. **В бумажном виде**
8. Еремин Е.Н. Основы химической кинетики в газах и растворах. М.: МГУ, 1971. – 375 с. **В бумажной форме**
9. Еремин В.В., Борщевский А.Я. Основы общей и физической химии. – М.: Интеллект, 2012 г. **в бумажной форме**
10. Чоркендорф И., Наймантсведрайт Х. Современный катализ и химическая кинетика. – М.: Интеллект, 2010 г. **в бумажном и электронном виде**
11. Астапенко В.А. Взаимодействие излучения с атомами и наночастицами. – М.: Интеллект, 2010 г. **в бумажном виде**
12. Чукбар К.В. Лекции по явлениям переноса в плазме. – М.: Интеллект, 2008. **В бумажном виде**
13. Миямото К. Основы физики плазмы и управляемого синтеза. /Перевод с англ. под общей ред. В.Д. Шафранова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. **В электронной форме**
14. Рамбиди Н.Г., Берёзкин А.В. Физические и химические основы нанотехнологий. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009 **в электронной форме**



15. Астапенко В.А. Взаимодействие излучения с атомами и наночастицами: Учебное пособие /В.А. Астапенко – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2010. **В бумажном виде**
  16. Горшков В.И. Кузнецов И.А. Основы физической химии. М.: БИНОМ, 2006 **в бумажном виде**
  17. Мелвин-Хьюз Э.А. Физическая химия. Кн. 1, Кн. 2 М.: ИЛ, 1962 **в электронной форме**
  18. Фролов Ю.Г. Белик В.В. Физическая химия: Учеб. для ВУЗов. М.: Химия, 1993 **в бумажной форме**
  19. Чеботин В.Н. Физическая химия твердого тела. М.: Химия, 1982 **в бумажном и электронном виде**
  20. Эткинс П. Физическая химия. Ч.1, Ч.2./Пер. с англ. М.: Мир, 1980 **в бумажном и электронном виде**
  21. Арзамасов Б.Н. Материаловедение: Учеб. для вузов. М.: МГТУ, 2005 **в бумажном виде 4 экз.**
  22. П.В. Ковтуненко. Физическая химия твердого тела. Кристаллы с дефектами. М.: Высш. шк. 1993. **В бумажном виде**
- б) дополнительная литература:**
1. Бажин Н.М., Пармон В.Н. Начала физической химии. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. – 332 с. **В электронной форме**
  2. Бажин Н.М. Иванченко В.А., Пармон В.Н. Термодинамика для химиков. М.: Химия, 2004. – 408 с. **В электронной форме**
  3. Полторацк О.М. Термодинамика в физической химии. М.: Высшая школа, 1991. – 318 с. **В бумажном виде 2 экз.**
  4. Антропов Л.И. Теоретическая электрохимия. М.: Высшая школа, 1984. – 519 с. **В бумажном виде**
  5. Эткинс П. Физическая химия. Том 1. М.: Мир, 1980. – 580 с. **В бумажном и электронном виде**
  6. Эткинс П. Физическая химия. Том 2. М.: Мир, 1980. – 584 с. **В бумажном и электронном виде**
  7. Герасимов Я.И., Древинг В.П., Еремин Е.Н., Киселев А.В., Лебедев В.П., Панченков Г.М., Шлыгин А.И. Курс физической химии. Том 1. М.: Химия, 1966. – 592 с. **В бумажном и электронном виде**
  8. Герасимов Я.И., Древинг В.П., Еремин Е.Н., Киселев А.В., Лебедев В.П., Панченков Г.М., Шлыгин А.И. Курс физической химии. Том 2. М.: Химия, 1963. 623 с. **В бумажном и электронном виде**
  9. Хенней Н. Химия твердого тела. М.: Мир, 1971 **В бумажном виде**
  10. Б.Ф. Ормонт. Введение в физическую химию и кристаллохимию полупроводников. М.: Высш. шк. 1973. **В бумажном и виде**
  11. Шиманский А.Ф. Шубин А.А. Фихикохимия твердого тела: Учеб. пособие. Красноярск, 2004 **В бумажном виде**
  12. Кудряшов И.В. Каретников Г.С. Сборник примеров и задач по физической химии: Учеб. пос. - 6-е изд. М.: Высш. шк., 1991 **В бумажном виде**
  13. Моррисон С. Химическая физика поверхности твердого тела. М.: Мир, 1980 **В бумажном виде**
  14. Оура К. Введение в физику поверхности. М.: Наука, 2006 **В бумажном виде**

**в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы**

<http://elibrary.ru>

<http://нэб.рф>

<http://info.sciencedirect.com/techsupport/journals/freedomcoll.htm>

<http://www.elsevier.com/solution/sciencedirect/content/book-title-lists>

<http://link.springer.com>

<http://www.uspkhim.ru>

<http://www.pslc.ws/russian/index.htm>

<http://www.chem.msu.su/rus/teaching/lachinov/welcome.html>

<http://www.chem.msu.su/rus/teaching/lachinov-basic/welcome.html>

[http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws\\_home/622898/description](http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/622898/description)

[http://www.elsevier.com/wps/find/P10.cws\\_home/main](http://www.elsevier.com/wps/find/P10.cws_home/main)

<http://pubs.acs.org/journal/cmateg>

[http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws\\_home/504097/description#description](http://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/504097/description#description)

<http://www.springerlink.com/content/102846/>

в) периодические издания:

1. Доклады Академии наук
2. Журнал аналитической химии
3. Журнал неорганической химии
4. Журнал физической химии
5. Заводская лаборатория
6. Известия ВУЗ: Материалы электронной техники
7. Квантовая электроника
8. Коллоидный журнал
9. Масс-спектрометрия
10. Металлы
11. Мир измерений
12. Неорганические материалы
13. Оптика и спектроскопия
14. Оптический журнал
15. Перспективные материалы
16. Теоретические основы химической технологии
17. Успехи химии
18. Физика и химия стекла
19. Фотоника
20. Химия и жизнь
21. Энциклопедия инженера-химика

### **15. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Ноутбук, медиа-проектор, экран. Программное обеспечение для демонстрации слайд-презентаций.

Программа составлена в соответствии с требованиями следующих нормативных документов:

1. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования по направлению подготовки 04.06.01. Химические науки (уровень подготовки кадров высшей квалификации) - приказ Минобрнауки России от 30.07.2014 № 869.
2. Паспорт научной специальности 02.00.04 – физическая химия, разработанный экспертами ВАК Минобрнауки России в рамках Номенклатуры специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25.02.2009 г. № 59.
3. Программа-минимум кандидатского экзамена по специальности 02.00.04 – физическая химия, утвержденная приказом Минобрнауки России от 08.10.2007 № 274 «Об утверждении программ кандидатских экзаменов».

**Авторы:**

Зав.лаб.ВОМ, д.х.н.

Гаврищук Е.М.

**Рецензент:**

С.н.с. ЛАХВВ, д.х.н.

Кеткова Л.А.

## Карты компетенций, в формировании которой участвует дисциплина

Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций), шифр	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
<b>ПК-2</b>					
ЗНАТЬ: современное состояние науки в области физической химии и в смежных областях	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о современном состоянии науки в области физической химии	Неполные представления о современном состоянии науки в области физической химии	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы, представления о современном состоянии науки в области физической химии	Сформированные систематические представления о современном состоянии науки в физической химии
ЗНАТЬ: требования к содержанию и правила оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о требованиях к содержанию и правилам оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях	Общие представления о требованиях к содержанию и правилам оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представления о требованиях к содержанию и правилам оформления рукописей, наличие однократного опыта публикаций в рецензируемых научных изданиях	Сформированные представления о требованиях к содержанию и правилам оформления рукописей, наличие неоднократного опыта публикаций в рецензируемых научных изданиях
УМЕТЬ: представлять научные результаты по теме диссертационной работы в виде публикаций в рецензируемых научных изданиях	Отсутствие умений	Фрагментарное использование методов подготовки научных результатов к публикации в рецензируемых научных изданиях	В целом успешное, но не систематическое использование методов подготовки научных результатов к публикации в рецензируемых научных изданиях	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы использование методов подготовки научных результатов к публикации в рецензируемых научных изданиях	Сформированное умение использовать методов подготовки научных результатов к публикации в рецензируемых научных изданиях

				изданиях	
УМЕТЬ: представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому и бизнес-сообществу	Отсутствие умений	Умение представлять результаты НИР узкому кругу специалистов	В целом успешное, умение представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому сообществу	Успешное умение представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому и бизнес-сообществу	Сформированное умение представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому и бизнес-сообществу; определять целевые группы и форматы продвижения результатов собственной научной деятельности
ВЛАДЕТЬ: методами планирования, подготовки, проведения НИР, анализа полученных данных, формулировки выводов и рекомендаций по направленности (научной специальности)	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение методов планирования, подготовки и проведения НИР, анализа и обсуждения полученных данных	В целом успешное, но не систематическое применение методов планирования, подготовки, проведения НИР, анализа полученных данных	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение методов планирования, подготовки, проведения НИР, анализа полученных данных, формулировка выводов по результатам НИР	Успешное и систематическое применение методов планирования, подготовки и проведения НИР и анализа и обсуждения экспериментальных данных; формулировка выводов и рекомендаций по результатам НИР

<b>ПК-3</b>					
ЗНАТЬ: Требования к корректному выбору методов обработки экспериментальных данных и/или методов численного моделирования химических процессов; современные	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания о требованиях к корректному выбору методов обработки экспериментальных данных и/или методов численного	Неполные знания о требованиях к корректному выбору методов обработки экспериментальных данных и/или методов численного моделирования	Сформированные, но содержащие определенные пробелы знания о требованиях к корректному выбору методов обработки экспериментальных	Сформированные и систематические знания о требованиях к корректному выбору методов обработки экспериментальных данных и/или методов

направления развития методом обработки экспериментальных данных и/или методов численного моделирования в своей профессиональной области		моделирования химических процессов; современные направления развития методом обработки экспериментальных данных и/или методов численного моделирования в своей профессиональной области	химических процессов; современные направления развития методом обработки экспериментальных данных и/или методов численного моделирования в своей профессиональной области	данных и/или методов численного моделирования химических процессов; современные направления развития методом обработки экспериментальных данных и/или методов численного моделирования в своей профессиональной области	численного моделирования химических процессов; современные направления развития методом обработки экспериментальных данных и/или методов численного моделирования в своей профессиональной области
УМЕТЬ: Корректно использовать современные методы обработки экспериментальных данных и/или современные методы численного моделирования сложных химических процессов в своей профессиональной области	Отсутствие умений	Частично освоенное умение корректно использовать современные методы обработки экспериментальных данных и/или современные методы численного моделирования сложных химических процессов в своей профессиональной области	В целом успешное, но не систематическое умение корректно использовать современные методы обработки экспериментальных данных и/или современные методы численного моделирования сложных химических процессов в своей профессиональной области	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение корректно использовать современные методы обработки экспериментальных данных и/или современные методы численного моделирования сложных химических процессов в своей профессиональной области	Успешное и систематическое умение корректно использовать современные методы обработки экспериментальных данных и/или современные методы численного моделирования сложных химических процессов в своей профессиональной области
ВЛАДЕТЬ: Современными методами обработки экспериментальных данных и/или современными методами численного моделирования химических процессов; систематическими знаниями в области	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение современных методов обработки экспериментальных данных и/или современными методами численного	В целом успешное, но не систематическое применение современных методов обработки экспериментальных данных и/или современными методами численного моделирования	В целом успешные, но содержащие определенные пробелы навыки применения современных методов обработки экспериментальных данных и/или современными методами	Успешное и систематическое применение навыков применения современных методов обработки экспериментальных данных и/или современными методами

современных методов обработки экспериментальных данных в области физической химии		моделирования химических процессов полимеризации; систематическими знаниями в области современных методов обработки экспериментальных данных в области физической химии	химических процессов полимеризации; систематическими знаниями в области современных методов обработки экспериментальных данных в области физической химии	численного моделирования химических процессов полимеризации; систематическими знаниями в области современных методов обработки экспериментальных данных в области физической химии	численного моделирования химических процессов полимеризации; систематическими знаниями в области современных методов обработки экспериментальных данных в области физической химии
<b>ПК-4</b>					
<b>ЗНАТЬ:</b> основные приемы химического эксперимента, методы получения веществ и исследования их физико-химических свойств	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления об основных приемах химического эксперимента, методах получения веществ и исследования их физико-химических свойств	Неполные знания об основных приемах химического эксперимента, методах получения веществ и исследования их физико-химических свойств	В целом полные, но содержащие определенные пробелы знания об основных приемах химического эксперимента, методах получения веществ и исследования их физико-химических свойств	Полные и системные знания об основных приемах химического эксперимента, методах получения веществ и исследования их физико-химических свойств
<b>УМЕТЬ:</b> осуществлять исследования химических и физико-химических процессов	Отсутствие умений	Частично сформированные умения об осуществлении химических и физико-химических процессов	В целом успешные, но не систематическое умение об осуществлении химических и физико-химических процессов	В целом успешное, но содержащее определенные пробелы умение об осуществлении химических и физико-химических процессов	Успешное и систематическое использование навыков осуществления химических и физико-химических процессов
<b>ВЛАДЕТЬ:</b> Навыками разработки фундаментальных основ технологических процессов получения материалов	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков разработки фундаментальных основ технологических процессов получения материалов	В целом успешное, но не систематическое применение навыков разработки фундаментальных основ технологических процессов получения	В целом успешное, но содержащее определенные пробелы применение навыков разработки фундаментальных основ технологических процессов получения	Успешное и систематическое применение навыков разработки фундаментальных основ технологических процессов получения

			материалов	материалов	материалов
<b>ПК-5</b>					
<p><b>ЗНАТЬ:</b> химические, физические и технические аспекты химических промышленных процессов; основные требования правил безопасности при работе с оборудованием различных классов сложности и опасности; цели и задачи научных исследований по направлению деятельности, базовые принципы и методы их организации; требования к представлению отчетных материалов; основные методы обработки экспериментальных данных</p>	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о химических, физических и технических аспектах химических промышленных процессов; основные требования правил безопасности при работе с оборудованием различных классов сложности и опасности; цели и задачи научных исследований по направлению деятельности, базовые принципы и методы их организации; требования к представлению отчетных материалов; основные методы обработки экспериментальных данных)	Неполные представления о химических, физических и технических аспектах химических промышленных процессов; основные требования правил безопасности при работе с оборудованием различных классов сложности и опасности; цели и задачи научных исследований по направлению деятельности, базовые принципы и методы их организации; требования к представлению отчетных материалов; основные методы обработки экспериментальных данных)	Сформированные, но содержащие определенные пробелы представления о химических, физических и технических аспектах химических промышленных процессов; основные требования правил безопасности при работе с оборудованием различных классов сложности и опасности; цели и задачи научных исследований по направлению деятельности, базовые принципы и методы их организации; требования к представлению отчетных материалов; основные методы обработки экспериментальных данных)	Сформированные системные представления о химических, физических и технических аспектах химических промышленных процессов; основные требования правил безопасности при работе с оборудованием различных классов сложности и опасности; цели и задачи научных исследований по направлению деятельности, базовые принципы и методы их организации; требования к представлению отчетных материалов; основные методы обработки экспериментальных данных)
<p><b>УМЕТЬ:</b> Использовать новое сложное технологическое (в том числе – нанотехнологическое)</p>	Отсутствие умений	Частично освоенное умение использовать новое сложное технологическое (в том	В целом успешное, но не систематическое умение использовать новое сложное технологическое	В целом успешное, но содержащее определенные пробелы умение использовать новое	Успешное (полное) и системное умение использовать новое сложное технологическое

<p>оборудование для получения перспективных материалов (в том числе – наноматериалов) различного функционального назначения; использовать современные современные физические модели, а также результаты фундаментальных и прикладных исследований для разработки новых методик аттестации структуры и свойств перспективных материалов различного функционального назначения.</p>		<p>числе – нанотехнологическое) оборудование для получения перспективных материалов (в том числе – наноматериалов) различного функционального назначения; использовать современное современные физические модели, а также результаты фундаментальных и прикладных исследований для разработки новых методик аттестации структуры и свойств перспективных материалов различного функционального назначения.</p>	<p>(в том числе – нанотехнологическое) оборудование для получения перспективных материалов (в том числе – наноматериалов) различного функционального назначения; использовать современные современные физические модели, а также результаты фундаментальных и прикладных исследований для разработки новых методик аттестации структуры и свойств перспективных материалов различного функционального назначения.</p>	<p>сложное технологическое (в том числе – нанотехнологическое) оборудование для получения перспективных материалов (в том числе – наноматериалов) различного функционального назначения; использовать современное современные физические модели, а также результаты фундаментальных и прикладных исследований для разработки новых методик аттестации структуры и свойств перспективных материалов различного функционального назначения.</p>	<p>(в том числе – нанотехнологическое) оборудование для получения перспективных материалов (в том числе – наноматериалов) различного функционального назначения; использовать современное современные физические модели, а также результаты фундаментальных и прикладных исследований для разработки новых методик аттестации структуры и свойств перспективных материалов различного функционального назначения.</p>
<p><b>ВЛАДЕТЬ:</b> Навыками работы со сложным исследовательским, контрольно-измерительным и технологическим оборудованием (в том числе – нанотехнологическим оборудованием мирового</p>	<p>Отсутствие навыков</p>	<p>Фрагментарное применение навыков работы со сложным исследовательским, контрольно-измерительным и технологическим оборудованием (в том</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое применение навыков работы со сложным исследовательским, контрольно-измерительным и технологическим</p>	<p>В целом успешное, но содержащее определенные пробелы использование навыков работы со сложным исследовательским, контрольно-измерительным и</p>	<p>Полное и систематическое применение навыков работы со сложным исследовательским, контрольно-измерительным и технологическим</p>



уровня).		числе – нанотехнологическим оборудованием мирового уровня).	оборудованием (в том числе – нанотехнологическим оборудованием мирового уровня).	технологическим оборудованием (в том числе – нанотехнологическим оборудованием мирового уровня).	оборудованием (в том числе – нанотехнологическим оборудованием мирового уровня).
ВЛАДЕТЬ: навыками разработки и верификации новых методик аттестации структуры и свойств конструкционных и многофункциональных материалов (в том числе – наноматериалов)	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков разработки и верификации новых методик аттестации структуры и свойств конструкционных и многофункциональных материалов (в том числе – наноматериалов)	В целом успешное, но не систематическое применение навыков разработки и верификации новых методик аттестации структуры и свойств конструкционных и многофункциональных материалов (в том числе – наноматериалов)	В целом успешное, но содержащее определенные пробелы использование навыков разработки и верификации новых методик аттестации структуры и свойств конструкционных и многофункциональных материалов (в том числе – наноматериалов)	Полное и систематическое применение навыков разработки и верификации новых методик аттестации структуры и свойств конструкционных и многофункциональных материалов (в том числе – наноматериалов)