

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
(ФГБОУ ВО КНИТУ)



УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по УР  
А.В.Бурмистров  
апреля 2019 г.

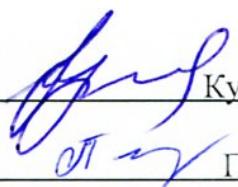
**Программа кандидатского экзамена**

02.00.01 «Неорганическая химия»

Казань, 2019 г.

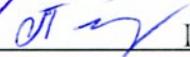
Составители программы:

зав. каф. неорганической химии, профессор



Кузнецов А. М.

доцент каф. неорганической химии



Петрова Т. П.

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры \_неорганической химии

протокол от 15 апреля 2019 г. № 5



Зав. кафедрой неорганической химии

Кузнецов А.М.

Утверждена на Ученом совете факультета химических технологий

протокол № 2 от 19 апреля 2019 г

**1. Программа кандидатского экзамена по специальности  
02.00.01 «Неорганическая химия»**

**1. Теоретические основы неорганической химии**

**1.1. Электронная оболочка атома химического элемента.** Исходные представления квантовой механики. Гипотеза Планка. Корпускулярные свойства электромагнитного излучения (фотоэффект, эффект Комптона). Корпускулярно-волновой дуализм микрочастиц (гипотеза де-Броиля, опыты Девиссона и Джермера, Томсона и Тартаковского). Особенности измерения в микромире. Принцип неопределенности Гейзенберга. Уравнение Шредингера. Волновая функция ( $\Psi$ ). Вероятностная интерпретация волновой функции (Борн). Радиальная часть волновой функции. Квантовые числа.

**1.2. Электронная структура атомов. Структура периодической системы.** Атомный номер элемента и его физический смысл. Закон Мозли. Энергетические уровни многоэлектронных атомов. Учет эффектов экранирования и проникновения. Принцип наименьшей энергии, принцип Паули, правило Хунда. Периодический закон Д. И. Менделеева: открытие, общенаучное значение. Периодическая система и Периодическая таблица элементов Д. И. Менделеева. Периоды, семейства, подсемейства, группы, подгруппы элементов.

**1.3. Основополагающие представления о химической связи.** Природа химической связи. Теория молекулярных орбиталей (МО). Энергетическая диаграмма МО и электронная конфигурация двухатомных гомоядерных и гетероядерных молекул *s*- и *p*-элементов. Порядок связи, энергия связи, межъядерное расстояние. Пара- и диамагнитные молекулы, окраска веществ. Энергетическая диаграмма МО многоатомных электронодефицитных молекул.

**1.4. Теория валентных связей.** Основные положения теории. Насыщаемость, направленность, полярность ковалентной связи. Пространственная конфигурация молекул. Теория гибридизации. Теория отталкивания валентных электронных пар. Модель Гиллеспи. Валентные углы. Нелокализованная  $\pi$ -связь. Гипервалентные молекулы.

**1.5. Агрегатное состояние.** Газовое состояние и его особенности. Жидкое состояние. Структура жидкости, близкий порядок. Ассоциация и ионизация молекул веществ в жидким состоянии. Влияние типа химической связи в молекулах и полярности молекул на их ионизацию. Кристаллическое состояние. Основные структуры веществ (островные,

цепные, слоистые, координационные). Изоморфизм, полиморфизм Зонная теория кристаллов. Зависимость свойств кристаллических веществ от типа химической связи и строения. Проводники, полупроводники, диэлектрики. Понятие об электронной и дырочной проводимости. Жидкие кристаллы. Дисперсные системы. Фазы. Взвеси, коллоидные системы, растворы. Адсорбция. Жидкие растворы. Растворы как гомогенные системы. Концентрация растворов, способы ее выражения. Образование растворов. Закон Генри. Ионизирующая способность растворителя. Кислотно-основная ионизация в растворах. Протонная теория кислот и оснований (Й. Бренстед, Т. Лоури). Электронная теория кислот и оснований (Г. Льюис). Жесткие и мягкие кислоты и основания (Р. Пирсон). Сильные и слабые электролиты. Степень ионизации. Каждая степень ионизации. Понятие об ионных парах и ионной силе раствора. Свойства разбавленных растворов неэлектролитов. Давление пара, температура кристаллизации и кипения. Законы Рауля. Закон Вант-Гоффа. Понятие о твердых растворах. Растворы внедрения и замещения. Соединения включения. Эвтектика. Понятие о физико-химическом анализе (Н.С. Курнаков).

**1.6. Методы исследования строения веществ.** Спектроскопические методы исследования. Электромагнитный спектр и атомные или молекулярные процессы. Рентгеновская и оптическая спектроскопия. Спектроскопия видимого и ультрафиолетового излучения. Инфракрасная спектроскопия (ИКС), Рамановская спектроскопия. Радиоспектроскопия. Гамма-спектроскопия. Дифракционные методы исследования. Магнитные измерения. Электронографический и нейtronографический методы. Отношение веществ к магнитному полю.

**1.7. Основные закономерности протекания химических процессов. Энергетика и направление химических процессов.** Типы химических систем: изолированная, закрытая, открытая. Термодинамические параметры системы. Закон сохранения энергии. Первый закон термодинамики. Энталпия фазовых и химических превращений. Закон Гесса. Термохимические расчеты. Стандартные условия. Стандартная энталпия образования вещества. Энталпийные диаграммы. Энергия кристаллической решетки. Энталпия гидратации ионов. Понятие об энтропии как мере разупорядоченности системы. Второй закон термодинамики. Уравнение Больцмана. Третий закон термодинамики. Энергия Гиббса. Стандартная энергия Гиббса образования вещества. Условие принципиальной возможности самопроизвольного осуществления химического процесса. Энталпийный и энтропийный факторы и направление процесса.

**1.8. Химическое равновесие.** Обратимые и необратимые химические процессы. Равновесие в гомогенных системах. Константа равновесия и ее связь с изменением энергии Гиббса. Влияние температуры, давления, концентрации веществ на состояние равновесия Принцип Ле Шателье. Понятие о кажущемся равновесии. Константа ионизации слабых электролитов. Понятие об активности. Константа нестойкости комплексов. Константа автопротолиза. Ионное произведение воды. Водородный и гидроксильный показатели. Понятие об индикаторах. Равновесие в гетерогенных системах. Произведение растворимости.

**1.9. Кинетика химических процессов.** Скорость реакций в гомогенных и гетерогенных системах. Факторы, влияющие на скорость процессов. Константа скорости реакции. Понятие об энергетическом барьере, энергии активации, активных частицах, активированном комплексе, энтропии активации. Механизмы химических реакций. Молекулярные, ионные, радикальные реакции. Цепные реакции (Н. Н. Семенов, С. Н. Хиншельвуд). Молекулярность и порядок реакций. Термодинамический и кинетический факторы протекания химических процессов. Возможность практического осуществления химических процессов. Инициирование химических процессов: тепловое (Правило Вант-Гоффа, уравнение Аррениуса), фотохимическое, радиационно-химическое, механическое и пр. Кatalитические процессы. Катализ гомогенный и гетерогенный. Роль катализаторов в интенсификации технологических процессов.

**1.10. Реакции без изменения степеней окисления элементов.** Реакции нейтрализации, комплексообразования и двойного обменного разложения. Гидролиз и его механизмы. Гидролиз соединений, распадающихся и нераспадающихся в растворах на ионы. Степень гидролиза и ее зависимость от природы вещества, концентрации раствора, температуры. Образование многоядерных комплексов при гидролизе. Понятие о сольволизе.

**1.11. Реакции с изменением степеней окисления элементов**

Окислительно-восстановительные процессы. Окислитель. Восстановитель. Относительность понятий. Составление уравнений окислительно-восстановительных реакций. Метод электронного баланса. Ионно-электронный метод. Влияние строения веществ, температуры, среды на протекание окислительно-восстановительных реакций. Направление окислительно-восстановительных реакций. Уравнение Нернста. Стандартные окислительно-восстановительные потенциалы. Ряд напряжений. Диаграммы Латимера и Фроста. Химические источники тока. Гальванические элементы. ЭДС гальванических элементов. Электролиз, химическая и электрохимическая коррозия. Защита металлов и их сплавов от коррозии. Топливные элементы.

## **2. Неорганическая химия**

**2.1. Простые вещества. Структура и свойство простых веществ.** Металлы и неметаллы, относительность понятий. Окислительно-восстановительные свойства простых веществ и их изменение в периодах и группах. Методы получения простых веществ. Чистые вещества. Методы очистки веществ. Химическое и электрохимическое рафинирование. Понятие о хроматографии. Переплавка в глубоком вакууме. Зонная плавка.

**2.2. Водород.** Особенность строения электронной оболочки атома водорода и его положение в периодической системе. Орто- и пара-водород. Строение, свойства, получение, применение водорода. Соединения водорода. Фторид водорода, вода, аммиак. Строение молекул, ассоциация и кислотно-основная ионизация в жидком состоянии. Гидриды простые и комплексные; их свойства, получение, применение.

**2.3. *p*-Элементы VII группы Периодической системы.** Общая характеристика подгруппы. Простые вещества, их строение, физические, окислительно- восстановительные свойства. Высокая химическая активность фтора. Получение и применение галогенов. Соединения галогенов (-I), их строение, физические и химические свойства. Характер изменения кислотных и восстановительных свойств в ряду: HF – HCl – HBr – HI. Соединения галогенов с положительной степенью окисления. Сравнение устойчивости, силы и окислительной активности кислородсодержащих кислот хлора.

**2.4. *p*-Элементы VI группы Периодической системы.** Общая характеристика подгруппы. Простые вещества и их строение. Вода. Строение молекулы. Диаграмма состояния. Оксиды, их строение, кислотно-основные свойства. Соединения пероксидного и надпероксидного типа, пероксокислоты. Соединения кислорода (I, II, IV). Соединения серы. Сульфиды, персульфиды (полисульфиды), их строение, кислотно-основные и окислительно-восстановительные свойства. Оксиды, галогениды, оксогалогениды, оксосульфаты серы (IV, VI). Полисерные кислоты. Олеум. Политионовые кислоты. Пероксосерные кислоты.

**2.5. *p*-Элементы V группы Периодической системы.** Общая характеристика подгруппы. Простые вещества, их строение, физические и химические свойства. Соединения с отрицательной степенью окисления азота и фосфора. Нитриды, гидразин, гидроксилимин, фосфины, фосфин, дифосфин. Соединения с положительной степенью окисления азота и фосфора. Строение, кислотно-основные и окислительно-восстановительные свойства

соединений азота и фосфора. Полифосфаты, метафосфаты. Полифосфорные кислоты. Применение соединений азота и фосфора.

**2.6. *p*-Элементы IV группы Периодической системы.** Общая характеристика подгруппы. Простые вещества, их строение, физические и химические свойства. Фуллерен, графен, нанотрубки. Соединения с отрицательной степенью окисления углерода и кремния. Карбиды, силициды. Соединения углерода (II). Простые и комплексные цианиды. Строение, кислотно-основные и окислительно-восстановительные свойства соединений углерода (II). Строение, кислотно-основные свойства соединений углерода (IV), кремния (IV) и их получение. Кварцевое стекло. Растворимое стекло. Ситаллы. Фторосиликаты. Фторкремниевая кислота. Кремнийорганические соединения.

**2.7. *p*-Элементы III группы Периодической системы.** Общая характеристика элементов бора, алюминия. Их строение, свойства, получение, применение. Соединения бора и алюминия. Бориды, оксид, сульфид, галогениды, гидриды. Особенности строения бороводородов. Нитрид бора (III). Боразон. Кислоты бора. Бороганические соединения. Боразол. Оксид, сульфид, галогениды, гидрид, гидроксид алюминия. Кационные и анионные комплексы алюминия. Алюминаты. Строение, свойства, получение соединений бора и алюминия и их применение.

**2.8. *s*-Элементы II группы Периодической системы.** Бериллий, магний. Общая характеристика элементов. Простое вещество. Строение, свойства, получение, применение. Соединения бериллия, магния. Их строение, свойства, получение, применение. Кационные комплексы. Кристаллогидраты. Анионные комплексы бериллия. Бериллаты. Их получение. Сопоставление свойств простых веществ и однотипных соединений бериллия, магния. Кальций, стронций, барий, радий. Общая характеристика элементов. Простые вещества. Строение, свойства, получение и применение кальция, стронция, бария, радия и их соединений.

**2.9. *s*-Элементы I группы Периодической системы.** Литий, натрий, калий, рубидий, цезий, франций. Общая характеристика элементов. Простые вещества. Строение, свойства, получение и применение лития, натрия, калия, рубидия, цезия, франция. Соединения лития, натрия, калия, рубидия, цезия, франция. Бинарные соединения. Оксиды, пероксиды, надпероксиды, гидроксиды, соли. Производство едкого натра (каустическая сода), едкого кали. Сода, поташ. Калийные удобрения. Применение соединений. Сопоставление свойств простых веществ и однотипных соединений лития, натрия, калия, рубидия, цезия, франция.

**2.10. Общие закономерности в химии *d*-элементов. Координационные соединения *d*-элементов.** Положение *d*-элементов в периодической системе и строение электронных

оболочек их атомов. Характер изменения радиуса, энергии ионизации, степеней окисления, координационных чисел атомов в подгруппах и периодах. Классификация комплексов. Номенклатура комплексных соединений. Строение комплексов. Описание комплексов теорией кристаллического поля (ТКП). Энергия расщепления  $d$ -орбиталей комплексообразователя в октаэдрическом и тетраэдрическом поле лигандов и ее зависимость от различных факторов. Спектрохимический ряд лигандов. Энергия стабилизации кристаллическим полем.

**2.11. Описание комплексов с позиции теории молекулярных орбиталей (ТМО).** Описание октаэдрических комплексов без  $\pi$ -связывания Энергетическая диаграмма МО комплексов. Донорные и акцепторные свойства лигандов. Энергетическая диаграмма МО тетраэдрических комплексов с  $\pi$ -связыванием. Искажение структур октаэдрических комплексов. Эффект Яна-Теллера. Влияние характера распределения электронов по МО и  $d$ -орбиталям комплексообразователя (ТКП) на свойства комплексов. Окраска, окислительно-восстановительная способность, магнитные свойства комплексов. Изомерия комплексных соединений. Кластерные соединения  $d$ -элементов. Понятие о кластерном соединении. Кластерные галогениды, оксиды, многоядерные карбонилы. Образование кратных связей металл-металл в кластерах. Их строение и свойства.

**2.12. Механизмы реакций координационных соединений.** Механизмы замещения лигандов. Реакции замещения в плоскоквадратных комплексах. Закономерность трансвлияния (И. И. Черняев) и поляризационная теория А. А. Гринберга. Реакции замещения в октаэдрических комплексах. Лабильные и инертные координационные соединения. Окислительно-восстановительные реакции. Кислотно-основные свойства координационных соединений. Применение комплексных соединений в различных отраслях науки и техники.

### **2.13. $d$ -Элементы III группы Периодической системы**

Скандий, иттрий, лантан, актиний. Общая характеристика элементов. Простые вещества. Общая характеристика соединений.

**2.14.  $d$ -Элементы IV группы Периодической системы** Общая характеристика элементов. Простые вещества, их строение, свойства, получение, применение. Соединения титана, циркония, гафния с металлической связью. Общая характеристика соединений титана (III). Соединения титана (IV), циркония (IV), гафния (IV). Бинарные соединения, гидроксиды, их получение и свойства. Полимерные гидроксо- и оксопроизводные. Анионные комплексы титана, циркония, гафния. Сопоставление свойств простых веществ и однотипных

соединений *p*- и *d*-элементов четвертой группы периодической системы. Сходство и различие между ними.

**2.15. *d*-Элементы V группы Периодической системы.** Общая характеристика элементов. Простые вещества, свойства, получение и применение. Соединения ванадия, ниобия, тантала с металлической связью. Общая характеристика соединений ванадия (II, III, IV). Соединения ванадия (V), ниобия (V), тантала (V). Их строение, свойства, получение. Сопоставление свойств простых веществ и однотипных соединений *p*- и *d*-элементов пятой группы периодической системы. Сходство и различие между ними.

**2.16. *d*-Элементы VI группы Периодической системы.** Общая характеристика элементов. Простые вещества. Их строение, свойства, получение, применение. Карбонилы хрома, молибдена, вольфрама, их строение и свойства. Соединения хрома (II, III). Оксид, галогениды, гидроксид, сульфид. Их строение, кислотно-основные и окислительно-восстановительные свойства, получение. Соединения хрома (VI), молибдена (VI), вольфрама (VI). Их кислотные и окислительные свойства. Характер изменения кислотно-основных и окислительно-восстановительных свойств однотипных соединений с повышением степени окисления хрома. Применение соединений хрома.

**2.17. *d*-Элементы VII группы Периодической системы** Общая характеристика элементов. Простые вещества, их строение, свойства, получение, применение. Карбонилы марганца, технеция, рения. Соединения марганца (II, IV, VI, VII). Их кислотно-основные и окислительно-восстановительные свойства. Марганцевая, технециевая, рениевая кислоты. Их строение, окислительные свойства, получение. Характер изменения кислотно-основных и окислительно-восстановительных свойств соединений с ростом степени окисления элементов. Применение соединений марганца. Сопоставление свойств простых веществ и однотипных соединений *p*- и *d*-элементов седьмой группы. Сходство и различие между ними.

**2.18. *d*-Элементы VIII группы Периодической системы.** Железо, рутений, осмий. Простые вещества, их строение, свойства, получение, применение. Карбонилы железа, рутения, осмия. Соединения железа (II, III). Их строение, кислотно-основные и окислительно-восстановительные свойства. Желтая кровяная соль. Красная кровяная соль. Их строение, свойства, получение. Соединения железа (VI), рутения (VI, VIII), осмия (VI, VIII). Их кислотно-основные и окислительно-восстановительные свойства. Характер изменения кислотно-основных и окислительно-восстановительных свойств однотипных соединений с повышением степени окисления железа, рутения, осмия. Применение соединений железа. Подгруппа кобальта. Простые вещества, их свойства,

применение. Соединения кобальта (0), родия (0), иридия (0). Соединения кобальта (II); соединения кобальта (III), родия (III), иридия (III). Их свойства, получение. Соединения родия (IV, VI), иридия (IV, VI). Их строение, свойства, получение. Применение соединений кобальта. Подгруппа никеля. Простые вещества, их строение, свойства, получение, применение. Соединения никеля (0), палладия (0), платины (0). Соединения никеля (II), палладия (II), платины (II). Нейтральные и анионные комплексы. Принцип трансвлияния. Соединения платины (IV). Их получение, кислотные свойства. Соединения платины (VI). Характер изменения свойств однотипных соединений с ростом степени окисления элементов.

**2.19. *d*-Элементы II группы Периодической системы.** Цинк, кадмий, ртуть. Простые вещества. Их строение, свойства, получение, применение. Сплавы. Амальгамы. Соединения цинка (II), кадмия (II), ртути (II). Их строение, получение, кислотно-основные свойства. Катионные и анионные комплексы. Их строение, получение. Соединения ртути (I), получение, свойства. Применение соединений цинка, кадмия, ртути

**2.20. *d*-Элементы I группы Периодической системы.** Общая характеристика элементов. Простые вещества. Их строение, свойства, применение, получение. Извлечение золота. Соединения меди (I), серебра (I), золота (I). Катионные и анионные комплексы, их получение, свойства. Соединения меди (II). Катионные и анионные комплексы. Соединения золота (III). Оксид, сульфид, галогениды, гидроксид. Их получение, свойства. Анионные комплексы. Характер изменения свойств однотипных соединений с повышением степени окисления элементов. Применение соединений меди, серебра, золота.

**2.21. *f*-Элементы.** Лантаноиды. Строение атомов. Атомные и ионные радиусы. Лантаноидное сжатие. Энергия ионизации. Степени окисления, координационные числа. Их изменение в семействе лантаноидов. Внутренняя периодичность. Простые вещества, свойства, получение. Общая характеристика соединений лантаноидов. Применение соединений. Актиноиды. Общая характеристика элементов. Синтез элементов. Простые вещества, получение, свойства, применение. Общая характеристика соединений актиноидов.

## **2.Учебно-методическое и информационное обеспечение программы кандидатского экзамена:**

a) основная литература:

1. Ахметов, Н.С. Общая и неорганическая химия / Н.С. Ахметов. – СПб.: Лань, 2014. – 752 с.

2. Ахметов, Н.С. Общая и неорганическая химия / Н.С. Ахметов. – СПб.: Лань, 2014. – 752 с. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/50684>
3. Ахметов, Н.С. Лабораторные и семинарские занятия по общей и неорганической химии / Н.С. Ахметов, М.К. Азизова, Л.И. Бадыгина. – СПб.: Лань, 2014. – 368 с.
4. Неорганическая химия: в 3 т. Под ред. Ю.Д. Третьякова. – М.: АКАДЕМА, 2004, 2007.
5. Семенов И.Н. Химия / И.Н. Семенов, И.А. Перфилова. – СПб.: Химиздат, 2014. – 656 с. Режим доступа: «Книгофонд»: [www.knigafund.ru/books/172343](http://www.knigafund.ru/books/172343).
6. Миахтакова, Н.Ш. Общая и неорганическая химия. Теория и практика. Учебное пособие / Н.Ш. Миахтакова, Т.П. Петрова. – Казань: Изд. КНИТУ, 2019. – 335 с.

б) дополнительная литература:

1. Гиллеспи, Р. Модель отталкивания электронных пар валентной оболочки и строение молекул / Р. Гиллеспи, И. Харгиттаи; пер. с англ. – М.: Мир, 1992. – 296 с.
2. Дикерсон, Р. Основные законы химии: в 2 т. Т. 1–2. / Р. Дикерсон, Г. Грэй, Дж. Хейт; пер. с англ. – М.: Мир, 1991.
3. Карапетьянц М.Х. Общая и неорганическая химия / М.Х. Карапетьянц, С.И. Дракин. – М.: Химия, 2000. – 588с.
4. Кукушкин, Ю.Н. Химия координационных соединений / Ю.Н. Кукушкин. – М.: Высш. шк., 2001. – 455 с.
5. Никольский, А.Б. Химия: учебник для вузов / А.Б. Никольский, А.В. Суворов. – СПб.: Химиздат, 2001. – 512 с.
6. Общая химия. Теория и задачи: учебное пособие / Н.В. Коровин, Н.В. Кулешов, О.Н. Гончарук и др. – СПб.: Лань, 2014. – 491 с. Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/51723>.
- 8 Химия и периодическая таблица / под ред. К. Сайто; пер. с япон. – М.: Мир, 1982. – 319 с.
9. Хьюи, Дж. Неорганическая химия / Дж Хьюи; пер с англ. – М.: Химия, 1987. – 696 с.
10. Фримантл, М. Химия в действии: в 2 т. Т. 1–2. / М. Фримантл; пер с англ. – М.: Мир, 1991.
11. Шапник, М.С. Избранные главы теоретической химии. / М.С. Шапник. – Казань. Изд-во КГТУ, 2004.– 229 с.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

Аспирантам обеспечен свободный выход в интернет, благодаря чему они могут получить дополнительную информацию по конкретным разделам дисциплины «Общая и неорганическая химия»