

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Самарский государственный технический университет»  
(ФГБОУ ВО «СамГТУ»)

УТВЕРЖДАЮ  
Ректор ФГБОУ ВО «СамГТУ»,  
д.т.н., профессор  
Д. Е. Быков  
«15» \_\_\_\_\_ 2018 г.



**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА  
в аспирантуру СамГТУ**  
по направлению подготовки **04.06.01 Химические науки**

профили:

*Неорганическая химия (02.00.01)*

*Органическая химия (02.00.03)*

*Физическая химия(02.00.04)*

*Нефтехимия (02.00.13)*

# РАЗДЕЛ 1. НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

## 1. Основы строения вещества

1.1. Введение. Химия как раздел естествознания - наука о веществах и их превращениях. Основные понятия и законы современной химии. Закон эквивалентов. Молярные массы эквивалента простых и сложных веществ.

1.2. Квантово-механическая модель строения атома. Основные сведения о строении атома. Квантовый характер излучения и поглощения энергии. Уравнение Планка. Атомные ядра, их состав. Электронные оболочки атомов. Корпускулярно-волновые свойства микрообъектов. Соотношение Луи де Бройля.

1.3. Характеристика доведения электрона в атоме системой квантовых чисел  $s$ ,  $p$ ,  $d$  и  $f$  - орбитали. Принципы формирования электронной структуры атомов. Запрет Паули, правило Гунда. Электронные формулы атомов элементов.

1.4. Периодическая система и периодический закон как естественная классификация элементов по электронному строению атомов. Структура системы, Периоды, группы и подгруппы. Обзор свойств элементов в соответствии с их положением в периодической системе. Энергия ионизации, сродство к электрону, электроотрицательность. Изменение величин радиусов атомов и ионов в периодах и группах.

1.5. Химическая связь и строение молекул. Основные виды химической связи. Современные представления о природе химической связи. Ковалентная связь. Методы описания ее: метод валентных связей и метод молекулярных орбиталей. Механизм образования и свойства ковалентной связи: насыщенность, направленность. Понятие о гибридизации атомных орбиталей. Полярность и полярность связи. Электрический момент диполя. Ординарные и кратные связи.

1.6. Донорно-акцепторные связи. Комплексные соединения. Их структура и классификация. Комплексообразователи, лиганды, координационные числа. Поведение комплексов в растворах. Комплексные и двойные соли. Понятие о константе нестойкости.

Межмолекулярные взаимодействия. Водородная связь.

Ионная связь. Свойства соединений с ионной связью.

1.7. Основные положения метода молекулярных орбиталей. Связывающие, несвязывающие и разрыхляющие орбитали. Влияние характера распределения электронов по молекулярным орбиталям на порядок, энергию и длину связи. Двухатомные молекулы элементов I и II периодов.

## 2. Общие закономерности химических процессов.

### 2.1. Энергетика химических процессов.

Понятие о внутренней энергии и энтальпии. Экзотермические и эндотермические процессы. Термохимические уравнения. Закон Гесса и следствия из него. Термохимические расчеты. Понятие об энтропии. Энергия Гиббса как критерий возможности и направления реакции.

2.2. Химическая кинетика и равновесие.

Основные понятия химической кинетики. Факторы, влияющие на скорость химических реакций. Закон действующих масс. Понятие об энергетическом барьере, активных частицах, энергии активации. Понятие о гетерогенном и гомогенном катализе. Обратимые и необратимые реакции. Химическое равновесие. Константа равновесия. Основные факторы, определяющие направление течения реакции и состояния равновесия. Принцип ЛеШателье.

## 3. Теория растворов.

3.1. Растворы. Общая характеристика.

Тепловые эффекты при растворении веществ. Способы выражения концентрации растворов. Электролиты и неэлектролиты. Растворы электролитов. Теория электролитической диссоциации. Степень диссоциации, ее зависимость от концентрации. Константа диссоциации. Сильные и слабые электролиты. Закон разбавления Оствальда. Константы диссоциации слабых электролитов. Состояние сильных электролитов в растворе. Понятие об активности. Ионная сила. Ионное произведение воды. рН и рОН. Гидролиз солей.

3.2. Гидролиз солей. Основные случаи гидролиза. Понятие о константе и степени гидролиза. Понятие о произведении растворимости. Условия осаждения и растворения малорастворимого электролита.

#### **4. Электрохимические процессы.**

4.1. Окислительно-восстановительные реакции. Степень окисления. Важнейшие окислители и восстановители. Классификация реакций окисления- восстановления. Методы составления уравнений окислительно-восстановительных реакций.

4.2. Электрохимия. Понятие об электродных потенциалах на границе металл/раствор электролита. Ряд стандартных электродных потенциалов. Формула Нернста. Гальванические элементы.

4.3. Электролиз. Последовательность анодных и катодных процессов. Электролиз с растворимым и нерастворимым анодами. Законы электролиза. Применение электролиза в химической технологии.

4.4. Электрохимическая коррозия металлов. Классификация и механизм коррозионных процессов. Способы защиты металлов от коррозии: металлические и неметаллические покрытия, протекторная и катодная защита, применение ингибиторов.

#### **5. Неорганическая химия. Обзор свойств элементов и их соединений.**

##### **5.1. Свойства s - элементов.**

Общие закономерности изменения структуры атомов s - элементов и влияние ее на физико-химические свойства. Щелочные металлы. Нахождение в природе, получение и применение. Общность химических свойств, взаимодействие с элементарными окислителями. Отношение к кислотам, воде.

Методы получения соды. Бериллий, магний. Щелочноземельные металлы. Общий обзор свойств соединений. Понятие о жесткости воды. Способы устранения солей жесткости и методы определения жесткости.

##### **5.2. Свойства p-элементов.**

Элементы подгруппы бора. Общая характеристика физических и химических свойств. Бороводороды. Борные кислоты и их соли. Алюминий. Отношение к элементарным окислителям, к воде, щелочам и кислотам. Соединения галлия и таллия.

Углерод. Валентные состояния атома углерода. Кислородные соединения углерода. Угольная кислота и ее соли. Соединения углерода с галогенами, азотом, серой. Дициан. Синильная кислота.

Цианиды и тиоцианиды. Кремний. Отношение к элементарным окислителям. Оксид кремния. Кремниевые кислоты и их соли. Краткая характеристика соединений элементов подгруппы германия. Станнаты и станниты, плюмбаты и плюмбиуы. Применение соединений германия, олова и свинца.

Элементы подгруппы азота. Общая характеристика. Азот. Соединения азота с водородом: аммиак, гидразин, гидроксил амин. Оксиды азота. Азотные кислоты и их соли,

свойства и применение. Фосфор. Физические и химические свойства. Оксиды фосфора. Соединения с водородом и галогенами. Кислоты фосфора: орто- и метафосфорная, пирофосфорная, фосфористая и фосфорноватистая. Условия осаждения фосфатов из водных растворов.

Мышьяк, сурьма, висмут. Общая характеристика свойств.

Сера. Физические и химические свойства. Сероводород и сульфаты. Сульфиды. Условия образования и растворения сульфидов. Оксиды серы. Серные кислоты: сернистая, серная, олеум, пиросерная, пероксосерная, тиосерная. Политионовые кислоты. Свойства солей этих кислот и их применение.

Галогены. Общая характеристика и области применения. Водородные соединения. Кислородосодержащие кислоты хлора, брома и иода. Относительная сила кислот. Окислительно-восстановительные характеристики их солей.

### 5.3. Свойства d-элементов.

Общая характеристика свойств элементов подгруппы хрома. Нахождение в природе, получение и применение. Химические свойства: отношение к элементарным окислителям, кислотам, щелочам и воде. Химические свойства соединений со степенью окисления +2, +3, +6. Их кислотно-основные характеристики и окислительно-восстановительные свойства. Хромиты, хроматы и дихроматы.

Общая характеристика свойств молибдена и вольфрама.

Подгруппа марганца. Нахождение в природе, получение и применение.

Химические свойства: отношение к кислотам, щелочам, воде и элементарным окислителям. Химические свойства соединений марганца со степенью окисления +2, +4, +6, +7. Их кислотно-основные и окислительно-восстановительные характеристики.

Марганцовые кислоты, их соли: свойства и применение.

Семейство железа. Важнейшие соединения, характеристика их свойств, области применения. Сплавы на основе железа. Химические свойства соединений железа со степенью окисления +2, +3, +6, кобальта и никеля - +2 и +3. Комплексные соединения железа (II) и железа (III). Общий обзор комплексных соединений d-элементов.

Методы описания химических связей в комплексных соединениях. Теория кристаллического поля. Изомерия комплексных соединений. Платиновые металлы. Общая характеристика. Нахождение в природе, получение и применение. Химическая активность при обычной и высокой температурах. Отношение к кислотам, щелочам, воде и элементарным окислителям. Комплексные соединения. Понятие о цис- и транс-изомерах комплексов. О трансвлиянии Черняева-Чугаева.

### 5.4. Свойства f-элементов.

Лантаноиды. Общая характеристика. Степень окисления. Нахождение элементов в природе. Получение металлов, их свойства, отношение к воде и водным растворам. Оксиды, гидроксиды, соли (III). Actinoids. Общая характеристика. Степени окисления. Уран, оксиды, производные уранила. Комплексные соединения f-элементов.

## Список рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Ахметов Н.С. Общая и неорганическая химия. М.: Высш. шк., 2009. - 743с.
2. Глинка Н.А. Общая химия. М.: «Интеграл-Пресс», 2009. - 727с.
3. Гаркушин И.К., Лисов Н.И., Лаврентьева О.В. и др. Химия для технических вузов: учебное пособие в 2-х частях. Учеб.пособ. 3-е изд., перераб. и доп. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2012.

4. Угай Я.А. Общая и неорганическая химия. М.: Высшшюшк., 2004. 527 с.
5. Третьяков Ю.Д., Мартыненко Л.И., Григорьев А.Н., Цивадзе А.Ю. Неорганическая химия. Т. 1, 2. М.: «Академия», 2004. 240 с.
6. Некрасов Б.Б. Основы общей химии. М.: «Лань», 2003. Т. 1, 2.

#### **Дополнительная литература**

1. Кукушкин Ю.Н. Химия координационных соединений. М.: Высш. шк., 2001. 455 с.
2. Карпетянц М.Х., Дракин С.И. Общая и неорганическая химия. М.: Высш. шк., 1993. 558 с.
3. Спицын В.И., Мартыненко Л.И. Неорганическая химия. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1994. Ч. 1, 2.
4. Драго А. Физические методы в химии. М.: Высш. шк., 2001. Т. 1, 2.
5. Гиллеспи Р., Харгитаи И. Модель отталкивания электронных пар валентной оболочки и строение молекул. М.: Мир. 1992. 296 с.

## РАЗДЕЛ 2. ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

### 2.1. Электронная теория строения органических соединений. Классификация органических соединений и реакций, природа ковалентной связи

1. Основы электронной теории строения органических соединений. Понятие атомной и молекулярной орбитали. Квантовые числа, правило Гунда, принцип Паули. Правило октетов, формулы Льюиса. Резонансные структуры, правила их построения.

2. Типы химических связей. Ионная и ковалентная связи. Свойства ковалентной связи. Координационная, донорно-акцепторная и водородная связи, её прочность. Формулы Льюиса. Межмолекулярные взаимодействия: диполь-дипольное, ион-дипольное, Ван-дер-Ваальсовы силы. Гибридизация атомных орбиталей ( $sp^3$ -,  $sp^2$ -,  $sp$ -гибридизация). Примеры. Атомно-молекулярные модели.

3. Взаимное влияние атомов в молекулах органических соединений. Эффекты электронных смещений: индукционный эффект, мезомерный эффект. Примеры и ряды групп с +I, -I, +M и -M-эффектами. Эффект гиперконъюгации (сверхсопряжения). Эффект поля. Стерический (пространственный) эффект.

4. Классификация и номенклатура органических реакций (по направлению, механизму, молекулярности). По направлению. Без изменения углеродного скелета: реакции замещения, присоединения, отщепления, перегруппировки, окисления и восстановления. С изменением углеродного скелета: изомеризация, циклизация, раскрытие цикла, изменение размера цикла и длины углеродной цепи. Понятие механизма химической реакции, переходное состояние, энергия активации, интермедиат, лимитирующая стадия. Классификация реакций по механизму. Гомолитические и гетеролитические реакции (нуклеофильные и электрофильные реакции и реагенты). Понятие о промежуточных частицах: радикалы, карбокатионы, карбоанионы, катион- и анион-радикалы, карбены, нитрены. Их строение, устойчивость, реакционная способность. Понятие о перциклических реакциях. Реакции одноэлектронного переноса.

5. Кислоты и основания. Сопряженные кислоты и сопряженные основания. Теория Бренстеда. Константы кислотности  $pK_a$  и основности  $pK_b$ . Кислотно-основные равновесия на примере спиртов, карбоновых кислот и аминов. Относительная сила OH-, NH-, SH- и SN-кислот. Теория Льюиса. Апротонные кислоты. Типы оснований в органической химии. Влияние заместителей в молекуле на кислотность и основность органических соединений. Принцип ЖМКО (принцип Пирсона).

6. Способы изображения пространственного строения молекул: клиновидные проекции, "лесопильные козлы", проекции Ньюмена. Конформации, конформеры, барьер вращения. Заслоненная и заторможенная конформации. Конфигурация и её отличие от конформации. Конформации этана, бутана. Энергетическая диаграмма конформационного состояния молекул этана и бутана. Асимметрический атом углерода. Понятие хиральности. Оптическая изомерия, оптическая активность. Энантиомеры. Рацематы. R,S-Номенклатура Кана-Ингольда-Прелога. Порядок старшинства заместителей у хирального центра.

7. Абсолютная и относительная конфигурации. Проекционные формулы Фишера. D,L-Номенклатура. Соединения с двумя хиральными центрами. Построение проекций Фишера. Диастереомеры. Мезоформы. Эпимеры. Способы разделения рацематов. Эритро- и трео-номенклатура. Представление об оптической изомерии соединений, не содержащих асимметрического атома углерода (соединения с центральной, аксиальной и планарной

хиральностью, спиральность). Геометрическая изомерия соединений с двойной связью. *Цис*-, *транс*-; *Z*, *E*- и *син*-, *анти*-номенклатуры.

## 2.2. Насыщенные или предельные углеводороды (парафины, алканы).

1. Гомологический ряд, изомерия и номенклатура. Промышленные способы получения: из природных источников, крекинг, синтез Фишера-Тропша. Методы синтеза: гидрирование непредельных углеводородов, восстановление галогенпроизводных, протолиз реактивов Гриньяра, реакция Вюрца (механизм), анодный синтез Кольбе (механизм), декарбоксилирование карбоновых кислот. Физические свойства алканов.

2. Характеристика связей С-С и С-Н в алканах. Химические свойства. Реакции замещения: галогенирование, нитрование, сульфохлорирование и сульфоокисление. Радикальный механизм реакций. Понятие о цепных реакциях. Селективность радикальных реакций. Полное и неполное окисление алканов. Распад первичных, вторичных и третичных гидроперекисей. Пиролиз и крекинг алканов (механизм). Дегидрирование, дегидроциклизация и изомеризация алканов. Понятие о реакциях электрофильного замещения в ряду алканов.

## 2.3. Этиленовые углеводороды (алкены, олефины)

1. Гомологический ряд. Изомерия и номенклатура. Способы получения олефинов: дегидрирование, пиролиз и крекинг алканов, дегидратация спиртов (механизм), дегидрогалогенирование алкилгалогенидов (механизм). Правило Зайцева. Дегалогенирование виц-дигалогенпроизводных. Реакции Гофмана, Виттига, Хека, селективное восстановление алкинов.

2. Физические свойства олефинов. Природа двойной связи. Химические свойства алкенов. Реакции присоединения. Гидрирование алкенов. Правило Лебедева. Электрофильное присоединение ( $Ad_E$ ). Правило Марковникова. Реакции с галогенами (механизм, стереохимия), галогеноводородами (би- и тримолекулярный механизм). Гидратация алкенов (механизм). Промышленный метод синтеза этанола. Присоединение хлорноватистой кислоты, нитрозилхлорида. Гидроборирование алкенов.

3. Радикальные реакции: присоединение галогенов, бромистого водорода по Харашу (механизмы). Гидроформилирование олефинов. Метатезис алкенов. Реакции присоединения карбенов. Окисление алкенов до оксиранов и до диолов по Вагнеру. Вакер-процесс. Озонолиз алкенов. Исчерпывающее окисление алкенов. Аллильное галогенирование и окисление. Аллильный радикал. Окислительный аммонолиз алкенов. Изомеризация алкенов. Полимеризация. Понятия полимер, олигомер, мономер, элементарное звено, степень полимеризации. Теломеризация и сополимеризация. Радикальная, катионная, анионная и координационная (механизмы) полимеризация алкенов. Стереорегулярные полимеры.

## 2.4. Ацетиленовые углеводороды (алкины)

1. Гомологический ряд, номенклатура, изомерия. Природа тройной связи. Промышленные способы получения ацетилена: из карбида кальция, пиролизом и неполным окислением метана, из оксида углерода. Методы синтеза алкинов: из галогенпроизводных, алкилированием ацетилена. Физические свойства алкинов. С-Н кислотность алкинов. Сравнение реакционной способности алкинов и алкенов.

2. Химические свойства алкинов. Восстановление алкинов до *цис*- и *транс*-алкенов. Реакция электрофильного присоединения галогенов и галогеноводородов. Реакция Кучерова. Реакции нуклеофильного присоединения спиртов (механизм реакции), синильной и уксусной

кислот. Образование ацетиленидов, реактивы Иощича, их применение в органическом синтезе. Реакция терминальных алкинов с кетонами, альдегидами (реакция Фаворского) и гипохлоритом натрия. Изомеризация алкинов. Карбонилирование алкинов. Окислительная димеризация терминальных алкинов в присутствии солей меди. Окисление алкинов. Типы олигомеризации и полимеризации ацетилена и его гомологов.

## 2.5. Углеводороды с двумя этиленовыми связями (алкадиены)

1. Гомологический ряд, номенклатура, изомерия. Классификация диеновых углеводородов. Диены с кумулированными двойными связями. Аллен. Строение кумуленов. Способы получения. Химические свойства. Реакция присоединения к алленам: галогенирование, гидрогалогенирование, гидратация, димеризация, изомеризация. Способы получения сопряженных диенов. Способы получения дивинила (дегидрирование бутан-бутиленовой фракции, по Лебедеву, конденсация нефтяных газов) и изопрена (из ацетона и ацетилена по Фаворскому, из изобутилена и формальдегида по Принсу).

2. Особенности строения сопряженных диенов ( $\pi, \pi$ -сопряжение, резонансные структуры, *S-цис*- и *S-транс*-конформации). Химические свойства 1,3-диенов. Каталитическое гидрирование и восстановление химическими восстановителями. Галогенирование и гидрогалогенирование 1,3-диенов. Аллильный катион. Реакции 1,2- и 1,4-присоединения, механизм, направление реакции в условиях термодинамического и кинетического контроля. Присоединение гипогалогенитов. Окисление и озонлиз. Реакция Дильса-Альдера. Димеризация диенов. Полимеризация и сополимеризация диенов. Натуральный и синтетический каучуки.

## 2.6. Алициклические соединения (циклоалканы, циклоалкены)

1. Классификация алициклических углеводородов. Номенклатура. Изомерия. Способы получения циклоалканов: из природных источников, гидрированием аренов и дегидроциклизацией алканов., из дигалогенпроизводных, из солей дикарбоновых кислот, реакциями [2+1]-, [2+2]- и [4+2]-циклоприсоединения, конденсацией Дикмана, ацилоиновой конденсацией.

2. Энергия напряжения циклоалканов и ее количественная оценка на основе теплот образования и теплот сгорания циклоалканов и соответствующих алканов. Типы напряжения в циклоалканах. Строение циклопропана, циклобутана, циклопентана, циклогексана. Конформационный анализ циклогексана. Аксиальные и экваториальные связи в конформации "кресло" циклогексана. Инверсия цикла.

3. Химические свойства циклоалканов. Особенности реакций гидрирования, галогенирования и гидрогалогенирования. Гидратация циклопропанов. Реакции расширения и сужения циклов. Дезаминирование по Демьянову. Представления о природных циклических системах терпенов, стероидов, простагландинов. Каркасные соединения.

## 2.7. Ароматические соединения

1. Классификация аренов. Ароматичность. Строение бензола. Развитие представлений о строении бензола. Формула Кекуле. Правило Хюккеля. Ароматические катионы и анионы. Конденсированные ароматические углеводороды, нафталин, азулен и т.д.). Гетероциклические ароматические соединения. Критерии ароматичности: энергетический, магнитный, структурный.



2. Одноядерные ароматические углеводороды. Гомологический ряд. Изомерия. Номенклатура. Способы получения аренов: из каменноугольной смолы, нефти. Ароматизация нефти, дегидроциклизация алканов. Лабораторные методы синтеза: реакция Вюрца-Фиттига, алкилирование аренов по Фриделю-Крафтсу, восстановление жирноароматических кетонов, протолиз арилмагнийгалогенидов, из циклоалканов и алкинов. Физические свойства аренов.

3. Химические свойства аренов. Реакции электрофильного замещения. Общие представления о механизме реакций, понятие о  $\pi$ - и  $\sigma$ -комплексах. Энергетическая диаграмма. Влияние природы заместителя на ориентацию и скорость реакции электрофильного замещения. Электронодонорные и электроноакцепторные заместители. Факторы парциальных скоростей. Согласованная и несогласованная ориентация заместителей в ароматическом кольце. Галогенирование. Механизм реакции галогенирования аренов. Сульфирование. Механизм реакции. Обратимость реакции сульфирования. Нитрование. Механизм реакции нитрования. Получение полинитросоединений. Понятие об ипсо-замещении.

4. Алкилирование аренов по Фриделю-Крафтсу. Механизм реакции. Побочные процессы: изомеризация алкилирующего агента и конечных продуктов. Ацилирование аренов по Фриделю Крафтсу. Механизм реакции. Формилирование по Гаттерману-Коху, Губену-Гешу и другие родственные реакции. Реакции нуклеофильного и радикального замещения в бензольном кольце. Каталитическое гидрирование, восстановление аренов по Бёрчу, фотохлорирование бензола. Реакции замещения водорода в боковой цепи алкилбензолов на галоген, нитрогруппу. Окисление бензола. Окисление алкилбензолов до карбоновых кислот. Окислительный аммонолиз толуола.

5. Полициклические ароматические углеводороды с изолированными ядрами. Дифенил, способы получения, строение. Атропоизомерия в ряду дифенила. Реакции электрофильного замещения, ориентация в этих реакциях и влияние на нее заместителей. Дифенил- и трифенилметан, их получение и свойства. Кислотные свойства трифенилметана, факторы, определяющие стабильность трифенилметильного катиона, аниона и радикала. Стильбен. ДДТ.

6. Ароматические углеводороды с конденсированными ядрами. Нафталин. Номенклатура и изомерия производных нафталина, его электронное строение и ароматичность. Химические свойства нафталина: восстановление, окисление. Реакции электрофильного замещения. Кинетический и термодинамический контроль в реакции сульфирования на примере нафталина. Антрацен и фенантрен: получение, химические свойства.

## **2.8. Производные углеводородов Галогенпроизводные углеводородов**

1. Классификация галогенпроизводных. Галогеналканы. Изомерия. Номенклатура. Способы получения из спиртов, алканов, алкенов; замещением атома одного галогена атомом другого. Получение полигалогеналканов. Характеристика связей углерод-галоген. Физические свойства. Химические свойства. Взаимодействие с металлами. Восстановление. Реакции нуклеофильного замещения в алкилгалогенидах (получение спиртов, тиолов, простых эфиров, нитросоединений, аминов, нитрилов, сложных эфиров и др.).

2. Механизмы  $S_N1$ ,  $S_N2$  реакций нуклеофильного замещения с участием галогеналканов. Энергетический профиль реакций. Реакции  $S_N2$  типа. Кинетика, стереохимия. Понятие о нуклеофильности. Реакции  $S_N1$  типа. Кинетика, стереохимия. Реакции элиминирования. Направление элиминирования. Правило Зайцева. Влияние различных

факторов на конкуренцию процессов E2 и S<sub>N</sub>2, E1 и S<sub>N</sub>1. Реакции 1,1-элиминирования. Генерирование карбенов.

3. Галогенпроизводные непредельных углеводородов (галогеналкены). Винилгалогениды. Инертность винилгалогенидов в реакциях нуклеофильного замещения. Аллилгалогениды. Аллильный карбокатион. Повышенная реакционная способность аллилгалогенидов. Арилгалогениды. Общие представления о механизме нуклеофильного замещения. Реакции кросс-сочетания. Реакция Ульмана. Жирноароматические галогенпроизводные. Бензилгалогениды, особенности химического поведения.

## **2.9. Одно- и многоатомные спирты и фенолы. Простые эфиры. Тиоспирты и тиоэфиры**

1. Предельные одноатомные спирты. Гомологический ряд спиртов. Номенклатура. Способы получения: гидролиз галогеналканов и эфиров, гидратация и гидроборирование алкенов, восстановление карбонильных соединений и сложных эфиров, реакции Гриньяра, дезаминирование первичных аминов. Физические свойства спиртов. Спирты, как слабые ОН-кислоты. Реакции алколюлятов. Спирты, как основания Льюиса.

2. Реакции нуклеофильного замещения гидроксильной группы: взаимодействие спиртов с галогенводородами, галогенидами фосфора, хлористым тиоилом. Механизмы S<sub>N</sub>1, S<sub>N</sub>2. Образование сложных эфиров минеральных и карбоновых кислот. Межмолекулярная и внутримолекулярная дегидратация спиртов. Окисление первичных спиртов до альдегидов и карбоновых кислот, вторичных спиртов до кетонов. Дегидрирование спиртов. Ненасыщенные спирты. Виниловый спирт и его производные. Аллиловый спирт. Методы синтеза, химические свойства. Пропаргиловый спирт. Жирноароматические спирты. Бензиловый спирт. Методы синтеза и химические свойства.

3. Многоатомные спирты. Классификация, изомерия, номенклатура. Получение из эпоксисоединений, окислением алкенов, гидролизом вицинальных дигалогенпроизводных, восстановительной димеризацией кетонов. Химические свойства: обнаружение, образование простых и сложных эфиров. Реакции окисления, дегидратации и замещения гидроксильных групп. Пинаколиновая перегруппировка. Глицерин. Способы получения. Химические свойства: образование сложных эфиров, дегидратация и окисление. Применение глицерина и его производных. Пентаэритрит.

4. Фенолы. Классификация. Способы получения: из арилгалогенидов, из сульфокислот, гидролизом солей арендиазония, окислением изопропилбензола. Кислотность фенолов. Фенолят-анион. Сравнение кислотного характера фенолов и спиртов, влияние заместителей в бензольном кольце на кислотность фенолов. Реакции по гидроксильной группе (образование простых и сложных эфиров). Особенности реакции электрофильного замещения в феноле и фенолят-анионе. Карбоксилирование по Кольбе-Шмидту. Гидрирование и окисление фенолов. Фенолформальдегидные смолы. Двухатомные фенолы. Пирокатехин, резорцин, гидрохинон. Трехатомные фенолы. Флюроглуцин. Пирогаллол. Оксигидрохинон.

5. Простые эфиры.-Номенклатура, изомерия. Методы получения: реакция Вильямсона, алкоксимеркурирование алкенов, межмолекулярная дегидратация спиртов. Свойства простых эфиров: образование оксониевых солей, расщепление кислотами. Краун-эфиры. Органические окиси. Оксираны. Способы получения. Раскрытие оксиранового цикла под действием электрофильных и нуклеофильных агентов. Гидропероксиды. Способы получения и применение. Органические перекиси.

6. Тиоспирты (меркаптаны). Номенклатура. Способы получения из галогеналканов, из спиртов, сульфокислот. Химические свойства. Кислотность. Образование меркаптидов. Восстановление. Окисление до сульфидов, дисульфидов и сульфокислот. Получение тиозфиров. Тиозфиры (сульфиды). Номенклатура. Способы получения. Иприт. Химические свойства: восстановление, реакция с галогенами, образование сульфониевых солей, окисление до сульфоксидов и сульфонов. Диметилсульфоксид. Сульфолан.

## 2.10. Альдегиды и кетоны

1. Альдегиды и кетоны жирного ряда. Изомерия. Номенклатура. Способы получения: окисление и дегидрирование спиртов, гидролиз дигалогенпроизводных, из солей карбоновых кислот, окисление алкенов, из алкинов, из металлорганических соединений, окислительным расщеплением гликолей, реакция Роземунда. Промышленное получение формальдегида, ацетальдегида (Вакер-процесс), высших альдегидов (гидроформилирование), ацетона и циклогексанона.

2. Строение карбонильной группы. Центры реакционной способности альдегидов и кетонов. Влияние строения радикала на карбонильную активность. Окисление альдегидов и кетонов, реакция Байера-Виллигера. Восстановление: каталитическое гидрирование, восстановление комплексными гидридами металлов. Диспропорционирование (реакции Канниццаро и Тищенко).

3. Общие представления о механизме нуклеофильного присоединения по карбонильной группе. Кислотный и основной катализ. Реакции присоединения кислород- (вода, спирты, карбоновых кислот), серу- (меркаптаны, бисульфит натрия), галогенсодержащих нуклеофилов (галогениды фосфора). Реакции альдегидов и кетонов с аммиаком. Восстановительное аминирование. Реакции присоединения – отщепления аминов, гидросиламина, гидразина и его производных. Присоединение синильной кислоты и реактивов Гриньяра.

4. Енолизация альдегидов и кетонов. Кето-енольная таутомерия. Альдольно-кетоновая конденсация альдегидов и кетонов в кислотной и щелочной среде, механизм. Окись мезитила, форон. Примеры смешанной конденсации. Конденсации формальдегида по Бутлерову и ацетона до мезитилена. Уротропин. Тримеризация и полимеризация альдегидов. Галогенирование альдегидов и кетонов: хлораль-гидрат, галоформная реакция.

5. Непредельные альдегиды и кетоны. Методы получения: конденсации, дегидратация глицерина, гидратация винилацетилена, окисление алкенов и аллиловых спиртов. Сопряжение связей  $C=C$  и  $C=O$ . Химические свойства. Реакции 1,2- и 1,4-присоединения водорода, галогеноводородов. Хиноны. Получение о- и п-бензохинонов. Свойства: хлорирование, хлоранил. присоединение хлористого водорода, реакция с диенами. Сопоставление свойств хинонов и непредельных кетонов. Восстановление хинонов. Диальдегиды и diketоны. Глиоксаль, получение и особые реакции. Диацетил. Синтез из метилэтилкетона. Диметилглиоксим. Ацетилацетон. Ацетонилацетон.

6. Ароматические альдегиды и кетоны. Способы получения: окисление углеводородов, спиртов, и бензилхлорида, гидролиз дигалогенпроизводных, из арилмагнийгалогенидов, реакции Роземунда, Гаттермана-Коха, Фриделя-Крафтса. Влияние заместителей в ароматическом кольце на реакционную способность карбонильной группы. Особые свойства ароматических альдегидов. Галогенирование. Образование оснований Шиффа. Конденсация Кляйзена. Реакция Канниццаро. Реакция Перкина. Бензоиновая конденсация. Особые свойства ароматических кетонов. Окисление. Восстановительная

димеризация, реакции конденсации. *Син-*, *анти-*-изомерия оксимов. Перегруппировка Бекмана. Капролактамы.

## 2.11. Карбоновые кислоты

1. Предельные одноосновные карбоновые кислоты. Гомологический ряд. Изомерия. Номенклатура. Способы получения: окисление первичных спиртов и альдегидов, гидролиз нитрилов и сложных эфиров; синтез на основе металлоорганических соединений; окисление высших парафинов, оксосинтез. Получение муравьиной и уксусной кислот. Строение карбоксильной группы. Физические свойства. Ассоциация и диссоциация. Константа кислотности. Строение карбоксилат-аниона. Влияние заместителей на константу кислотности.

2. Реакции карбоксильной группы: синтез солей, сложных эфиров, ангидридов кислот, галогенангидридов, амидов. Галогенирование и окисление карбоновых кислот. Высшие жирные карбоновые кислоты. Ряд реакционной способности производных карбоновых кислот. Галогенангидриды. Получение с помощью галогенидов фосфора, тионилхлорида, из кетена. Свойства: взаимодействие с нуклеофильными реагентами: вода, спирты, аммиак, амины, гидразин, гидроксилламин. Восстановление до альдегидов по Розенмунду и комплексными гидридами металлов. Фосген.

3. Ангидриды. Методы получения: из кетена, дегидратация кислот, ацилирование солей карбоновых кислот хлорангидридами. Реакции ангидридов кислот с нуклеофилами. Сложные эфиры. Методы получения: этерификация карбоновых кислот (механизм), алкилирование карбоксилат-анионов. Реакции сложных эфиров: гидролиз, аммонолиз, переэтерификация; взаимодействие с магнийорганическими соединениями, восстановление до спиртов и альдегидов комплексными гидридами металлов; сложноэфирная конденсация Кляйзена. Ортоэфиры и карбонаты.

4. Амиды. Классификация. Методы получения: ацилирование аммиака и аминов, гидролиз нитрилов. Свойства: гидролиз, дегидратация, дезаминирование (реакция Буво), восстановление до аминов. Галогенирование, перегруппировка Гофмана. Карбамид. Нитрилы. Методы получения: дегидратация амидов, алкилирование цианид-иона, окислительный аммонолиз. Свойства: гидролиз, аммонолиз, восстановление до аминов. Кетены. Способы получения из ацетона, уксусной кислоты, из галогенангидридов  $\alpha$ -галогенкислот. Строение. Реакции присоединения. Дикетен.

5.  $\alpha,\beta$ -Ненасыщенные карбоновые кислоты. Методы синтеза. Сопряжение карбоксильной группы с двойной связью. Реакции присоединения, направление реакции присоединения. Акриловая и метакриловая кислоты. Способы получения, свойства и применение. Полиметилметакрилат. Высшие непредельные карбоновые кислоты. Применение. Двухосновные ненасыщенные кислоты – малеиновая, фумаровая, способы получения, физические и химические свойства. Взаимопревращения малеиновой и фумаровой кислот. Различия в химических свойствах. Малеиновый ангидрид, получение, применение.

6. Двухосновные предельные карбоновые кислоты. Гомологический ряд. Номенклатура. Методы синтеза: окислением гликолей и омылением динитрилов. Кислотные свойства. Отношение к нагреванию. Щавелевая кислота. Малоновая кислота: получение, синтезы с малоновым эфиром. Янтарная кислота, ее ангидрид, имид, N-бромсукцинимид. Адипиновая кислота, ее получение.

7. Галогензамещенные кислоты. Классификация. Номенклатура. Способы получения: галогенирование карбоновых кислот, непредельных и гидроксизамещенных карбоновых кислот. Химические свойства. Кислотность галогензамещенных кислот.

Зависимость химических свойств от взаимного расположения галогена и карбоксильной группы. Реакции по карбоксильной группе. Нуклеофильное замещение галогена. Гидроксикислоты. Понятия основности и атомности гидроксикислот. Классификация. Способы получения  $\alpha$ - и  $\beta$ -гидроксикислот: окислением гликолей и альдолей, омылением оксинитрилов, из других карбоновых кислот. Реакции по карбоксильной и гидроксильной группам. Отношение  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -гидроксикислот к нагреванию. Лактоны. Расщепление  $\alpha$ -гидроксикислот при нагревании с кислотами. Молочная, винная, яблочная, лимонная кислоты. Применение гидроксикислот.

8. Альдегидо- и кетокислоты. Классификация, номенклатура, способы получения. Особые химические свойства: декарбоксилирование, декарбонилирование, окисление. Пировиноградная кислота. Ацетоуксусный эфир, способы получения, свойства. Синтезы на основе ацетоуксусного эфира.

9. Ароматические монокарбоновые кислоты. Особые способы получения одноосновных ароматических кислот. Физические свойства. Влияние бензольного кольца, заместителей и пространственных факторов на кислотность. Химические свойства. *Орто*-эффект. Перекись бензоила. Ненасыщенные карбоновые кислоты. Реакция Перкина. Оксibenзойные кислоты. Способы получения (карбоксилированием фенолятов по Кольбе-Шмидту), химические свойства. Салициловая кислота. Применение гидроксibenзойных кислот и их производных. Галловая кислота. Двухосновные ароматические кислоты. Фталевая, изофталевая, терефталевая. Промышленные методы получения. Фталевый ангидрид, фталимид.

## 2.12. Нитросоединения

1. Классификация. Изомерия. Номенклатура. Способы получения: нитрование алканов и нуклеофильное замещение галогена в галогеналканах (амбидентный характер нитрит-аниона), окисление аминов. Строение нитрогруппы. Физические свойства. Химические свойства. Кислотность и таутомерия первичных и вторичных нитросоединений. Нитроновые эфиры. Реакции нитроалканов с концентрированными и разбавленными кислотами, со щелочами, с азотистой кислотой, галогенами, конденсации с карбонильными соединениями. Восстановление нитросоединений. Применение нитросоединений в промышленности.

2. Ароматические нитросоединения. Способы получения: нитрование бензола и его гомологов. Физические свойства. Отличие свойств ароматических нитросоединений от нитросоединений жирного ряда. Восстановление нитроаренов в кислой, нейтральной и щелочной средах. Промежуточные продукты восстановления ароматической нитрогруппы (нитрозосоединения, арилгидроксиламины, азокси-, азо- и гидразосоединения). Влияние нитрогруппы на реакционную способность бензольного кольца и других заместителей в бензольном кольце. Нитробензол. Нитротолуолы. Применение ароматических нитросоединений.

## 2.13. Амины

1. Классификация, изомерия, номенклатура аминов. Способы получения: алкилирование аммиака галогеналканами и спиртами, гидролиз амидов, восстановление азотсодержащих соединений (нитроалканов, оксимов, нитрилов, амидов, органических азидов). Восстановительное аминирование карбонильных соединений. Физические свойства. Химические свойства. Основность. Сравнение основных свойств первичных, вторичных, третичных алифатических аминов. Реакции аминов с минеральными кислотами. Алкилирование аминов галогеналканами. Ацилирование галогенангидридами и ангидридами кислот. Взаимодействие первичных, вторичных и третичных алифатических с азотистой

кислотой. Галогенирование аминов. Диамины, свойства и использование в реакциях поликонденсации.

2. Ароматические амины. Номенклатура. Изомерия. Способы получения: из нитросоединений, из галогенбензолов, алкилированием и арилированием анилина, восстановление оснований Шиффа. Физические и химические свойства. Влияние на основность аминов бензольного кольца и заместителей в ароматическом ядре. Реакции алкилирования и ацилирования. Взаимодействие первичных, вторичных и третичных ароматических аминов с азотистой кислотой. Взаимодействие с альдегидами (основания Шиффа). Окисление ароматических аминов. Реакции электрофильного замещения в бензольном ядре, защита аминогруппы. Диамины ароматического ряда, получение и применение. Аминофенолы.

#### **2.14. Диазо- и азосоединения. Азокрасители**

1. Классификация. Общие представления об алифатических диазо- и азосоединениях. Диазометан, диазоуксусный эфир, диазокарбонильные соединения. Способы получения и свойства. Азо-бис-изобутиронитрил. Реакции диазотирования первичных ароматических аминов. Условия диазотирования в зависимости от строения амина. Механизм, природа нитрозирующего агента. Строение и устойчивость солей диазония. Кислотно-основные равновесия с участием катиона арендиазония.

2. Реакции диазосоединений с выделением азота: замена диазогруппы на галоген, цианогруппу, нитрогруппу, гидроксильную группу и водород.  $S_N1$ -Механизм ароматического нуклеофильного замещения в реакциях катиона арендиазония. Механизм реакции Зандмейера. Реакции диазосоединений без выделения азота: восстановление до арилгидразинов, реакции с С-Н кислотами азосочетание. Изомерия азосоединений. Азосочетание как реакция электрофильного замещения. Правила азосочетания. Понятие об азокрасителях. Аукохромы и хромофорные группы.

#### **2.15. Гетероциклические соединения**

1. Классификация гетероциклов, номенклатура. Пятичленные гетероциклы с одним гетероатомом. Фуран, пиррол, тиофен. Общие способы получения: из 1,4-дикарбонильных соединений, по Ю.К. Юрьеву (взаимные превращения гетероциклов). Особые способы получения фурана, пиррола, тиофена. Строение. Ароматичность пятичленных гетероциклов. Реакции электрофильного замещения в пятичленных ароматических гетероциклах: нитрование, сульфирование, галогенирование, формилирование, ацилирование. Реакции присоединения. Отношение к действию окислителей и кислот. Реакции, характеризующие фуран как диен. Пролин. Поливинилпирролидон. Порфирины.

2. Индол. Способы получения. Строение и химические свойства индола как аналога пиррола. Реакции электрофильного замещения: нитрование, формилирование, галогенирование, азосочетание. Реакции с металлоорганическими соединениями и восстановителями. Реакции по NH-группе (алкилирование, ацилирование). Понятие об индигоидных красителях и кубовом крашении. Гетероауксин. Триптофан.

3. Шестичленные ароматические гетероциклы с одним гетероатомом. Пиридин, хинолин. Синтез пиридина. Синтез хинолина и замещенных хинолинов из анилинов по Скраупу. Ароматичность пиридина. Пиридин и хинолин как основания. Реакции пиридина и хинолина с алкилгалогенидами. Окисление и восстановление пиридина и хинолина. Реакции электрофильного замещения в пиридине и хинолине: нитрование, сульфирование, галогенирование. N-Окиси пиридина и хинолина. Нуклеофильное замещение атомов водорода в

пиридине и хинолине в реакциях с гидроксидом калия, амидом натрия (Чичибабин). Никотин. Хинин.

## 2.16. Биоорганическая химия

1. Классификация и номенклатура аминокислот. Природные аминокислоты. Заменяемые и незаменимые аминокислоты. Важнейшие физические и химические свойства. Кислотно-основные свойства, амфотерность аминокислот. Изоэлектрическая точка. Синтезы  $\alpha$ -аминокислот. Свойства аминокислот: по аминогруппе, карбоксилу, отношение к нагреванию. Номенклатура и классификация пептидов. Основные принципы синтеза полипептидов; защита аминогруппы и активация карбоксильной группы. Первичная, вторичная и третичная структура белков.

2. Классификация углеводов. Моносахариды. Стереохимия альдоз и кетоз в проекциях Фишера. Циклические полуацетали альдогексоз, глюкопиранозы и глюкофуранозы.  $\alpha$ - и  $\beta$ -Аномеры. Формулы Хеуорса для аномерных моносахаридов. Таутомерия циклических и открытых форм в растворах моносахаридов, мутаротация глюкозы. Реакции моносахаридов. Получение гликозидов. Синтез простых и сложных эфиров моносахаридов. Окисление альдоз до альдоновых и сахарных кислот. Восстановление и дегидратация моносахаридов. Образование озаонов при взаимодействии с фенилгидразином. Перегруппировка Лобри де Брюина – Ван Экенштейна. Дезоксирибоза.

3. Дисахариды (биозы): трегалоза, целлобиоза, лактоза, сахароза. Полисахариды, гликоген, целлюлоза и крахмал. Строение. Физические и химические свойства. Химическая модификация целлюлозы.

4. Нуклеиновые основания, нуклеозиды и нуклеотиды. Методы создания гликозидной связи. Первичная структура ДНК и РНК. Нуклеотидный состав ДНК и РНК. Вторичная структура ДНК. Биологическая функция ДНК. Виды РНК и ее роль в синтезе белка.

## 2.17. Химия металлоорганических соединений

1. Особенности связи углерод–металл; зависимость ее природы и реакционной способности от положения металла в Периодической системе. Магний- и литийорганические соединения; способы их получения и реакции с соединениями, содержащими активный атом водорода: спиртами, аминами, тиолами, алкинами, кислотами. Синтез элементоорганических соединений.

2. Реакции магний- и литийорганических соединений как нуклеофилов: взаимодействие с галогенуглеводородами, оксиранами. Реакции присоединения к карбонильным соединениям. Механизм присоединения реактивов Гриньяра к альдегидам и кетонам, возможные побочные реакции. Реакции литий- и магнийорганических соединений с производными карбоновых кислот: сложными эфирами, нитрилами, амидами, ангидридами и галогенангидридами.

## Список рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Травень В.Ф. Органическая химия: учебное пособие для вузов: в 3 т. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2016. (Т.1. – 368 с., Т.2. – 517 с., Т.3 – 388 с.)
2. Реутов О.А., Курц А.А., Бутин К.П. Органическая химия. В 4-х частях. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011-2015. (Ч.1. - 2014. - 567 с.; Ч.2. - 2014. - 623 с.; Ч.3. - 2015. - 544 с.; Ч.4. - 2011. - 726 с.)
3. Шабаров Ю.С. Органическая химия: Учебник для вузов. – М.: Лань, 2011. – 848 с.

### **Дополнительная литература**

1. Петров А.А., Бальян Х.В., Трощенко А.Т. Органическая химия: Учебник для вузов. – М.: Альянс, 2012. – 624 с.
2. Ли Дж. Дж. Именные реакции. Механизмы органических реакций. / Пер. с англ. В.М. Демьянович. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 465 с.
3. Боровлев И.В. Органическая химия: термины и основные реакции. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. – 2010. – 359 с.
4. Хельвинкель Д. Систематическая номенклатура органических соединений / пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 232 с.



## РАЗДЕЛ 3. ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

### 3.1 Химическая термодинамика

#### 3.1.1 Первый закон термодинамики

1.1.1. Введение. Предмет физической химии, ее возникновение и развитие. Основные разделы и теоретические методы физической химии. Значение физической химии.

1.1.2. Химическая термодинамика. Основные понятия и определения. Внутренняя энергия, теплота и работа. Первый закон термодинамики. Применение первого закона к изменению состояния идеального газа. Работа различных процессов.

1.1.3. Термохимия. Термохимические уравнения и их использование. Связь тепловых эффектов при  $P=\text{const}$  и  $V=\text{const}$ . Закон Гесса и его применение. Теплота образования химических соединений из простых веществ. Расчет теплоты реакции по теплотам образования ее участников. Теплота сгорания. Расчет теплоты реакции по теплотам сгорания участников.

1.1.4. Теплота растворения. Теплота нейтрализации. Тепловые эффекты полиморфных и агрегатных превращений. Правила Трутона, Кистяковского, Нернста. Теплота образования химической связи, вычисление теплоты реакции по энергиям связей.

1.1.5. Цикл Борна-Габера. Зависимость теплового эффекта химической реакции от температуры. Зависимость теплоемкости от температуры и развернутое уравнение Кирхгофа. Применение закона Кирхгофа в случае агрегатных и полиморфных переходов одного или нескольких участников реакции.

#### 3.1.2 Второй закон термодинамики

1.2.1. Второй закон термодинамики. Энтропия. Объединенное уравнение первого и второго законов термодинамики для обратимых процессов и необратимых процессов. Вычисление  $\Delta S$  в различных процессах.

1.2.2. Вычисление  $\Delta S$  в различных процессах (продолжение). Постулат Планка. Абсолютное значение энтропии. Энтропия как мера вероятности состояния.

1.2.3. Термодинамические характеристические функции  $G$  и  $F$  идеального газа. Максимальная работа химической реакции и химическое средство.

1.2.4. Определение термодинамической возможности самопроизвольного протекания химической реакции в стандартных условиях. Стандартные изобарные потенциалы образования химических соединений из простых веществ. Уравнение Гиббса-Гельмгольца. Понятие о химических потенциалах.

#### 3.1.3 Химическое равновесие

1.3.1. Равновесие, общая характеристика. Константа равновесия химической реакции и способы ее выражения. Фугитивность. Уравнение изотермы химической реакции.

1.3.2. Зависимость константы равновесия от температуры (уравнение изобары (изохоры) химической реакции). Зависимость константы равновесия от давления. Принцип Ле-Шателье.

1.3.3. Метод Темкина-Шварцмана расчета  $\Delta G^\circ$ . Расчет константы равновесия по значениям  $\Delta G^\circ_{t, 298}$ . Расчет константы равновесия с использованием приведенных изобарных потенциалов.

1.3.4. Расчет состава равновесной смеси. Химическое равновесие в гетерогенных системах. Упругость диссоциации металлических оксидов.

#### 3.1.4 Фазовые равновесия

1.4.1. Общее условие равновесия и самопроизвольного течения процесса при фазовых переходах. Уравнение Клаузиуса-Клайперона, его анализ. Диаграмма состояния однокомпонентной системы. Понятие о физико-химическом анализе. Принципы Курнакова.

1.4.2. Правило фаз Гиббса. Термический анализ. Диаграмма состояния двухкомпонентной системы с одной эвтектикой без твердых растворов и химических соединений.

1.4.3. Диаграмма состояния двухкомпонентной системы с ограниченной растворимостью в твердом состоянии. Диаграмма состояния двухкомпонентной системы с неограниченной растворимостью в твердом и жидком состояниях. Диаграммы состояния с образованием химического соединения, плавящегося без разложения и с разложением.

1.4.4. Способы изображения состава тройной системы (методы Гиббса и Розебоома). Построение диаграмм состояния тройных систем и их графическое представление.

## **3.2. Учение о растворах**

### **3.2.1. Основы термодинамической теории растворов**

2.1.1. Общая характеристика и классификация растворов. Способы выражения концентрации растворов. Парциальные молярные величины, их значение. Связь между парциальными молярными величинами компонентов раствора. Уравнения Гиббса-Дюгема и Дюгема-Маргулеса.

#### **3.2.2. Идеальные растворы**

2.2.1. Бесконечно разбавленные растворы. Химический потенциал растворенного вещества в растворе. Растворимость газов в жидкостях, влияние на растворимость давления, температуры. Законы Сивертса и Сеченова. Растворимость твердых тел в жидкостях. Уравнение Шредера.

2.2.2. Коллигативные свойства разбавленных растворов: понижение давления насыщенного пара, повышение температуры кипения, понижение температуры кристаллизации, осмотическое давление раствора.

2.2.3. Коллигативные свойства растворов в случае диссоциации растворенного вещества. Закон распределения Шилова-Нернста. Экстракция. Совершенные растворы и их законы. Диаграмма «давление насыщенного пара-состав», бинарной системы, компоненты которой образуют совершенные растворы. Состав пара над совершенным раствором.

#### **3.2.3. Равновесие «жидкий раствор-пар» в двухкомпонентных системах**

2.3.1. Реальные растворы. Отклонения от закона Рауля. Составы равновесных жидкости и пара в реальных системах, законы Коновалова. Диаграммы «давление-состав» и «температура кипения-состав». Законы Вревского.

2.3.2. Дистилляция двойных смесей. Фракционная (дробная) перегонка двойных жидких смесей. Ректификация. Системы ограниченно растворимых друг в друге жидкостей, давление насыщенного пара в таких системах. Взаимно нерастворимые жидкости, давление насыщенного пара и температура кипения таких смесей. Перегонка с водяным паром.

2.3.3. Активность. Связь между активностями компонентов раствора. Некоторые методы определения активности.

## **3.3 Кинетика химических реакций**

### **3.3.1 Формальная кинетика**

3.1.1. Общие сведения о кинетике химических реакций: типы реакций, формальная кинетика, теории химической кинетики» Скорость химической реакции, методы измерения скоростей реакции. Молекулярность и порядок химической реакции.

3.1.2. Необратимые реакции первого порядка. Необратимые реакции второго и третьего порядков. Время полупревращения. Реакции n-ного и дробного порядков, реакции нулевого порядка.

3.1.3. Методы определения порядка химических реакций (интегральные, дифференциальные, методы изоляции).

### **3.3.2. Сложные реакции**

3.2.1. Кинетическое изучение сложных реакций. Обратимые реакции. Параллельные реакции. Последовательные (консекутивные) реакции.

3.2.2. Последовательные реакции (продолжение). Методы стационарных концентраций Боденштейна-Семенова.

3.2.3. Сопряженные реакции. Классификация сопряженных реакций по Шилову. Фотохимические реакции.

3.2.4. Цепные реакции. Цепные реакции с не разветвляющимися и с разветвляющимися цепями. Влияние давления и температуры.

### **3.3.3. Теории химической кинетики**

3.3.1. Влияние температуры на скорость химических реакций, логистическая кривая. Тепловой взрыв. Теория активных столкновений Аррениуса. Теория переходного состояния (активного комплекса). Гомогенные реакции в растворе.

### **3.3.4. Кинетика гетерогенных реакций и катализ**

3.4.1. Кинетика гетерогенных химических реакций. Кинетическая и диффузионная области протекания реакций. Влияние некоторых факторов на переход из одной области в другую. Катализ: общая характеристика явления.

3.4.2. Гетерогенный катализ. Теории гетерогенного катализа. Гомогенный катали.

## **3.4 Электрохимия**

### **3.4.1. Теория электролитов**

4.1.1. Основные положения теории Аррениуса. Ионные равновесия в растворах электролитов. Недостатки классической теории электролитической диссоциации.

4.1.2. Ион-дипольное взаимодействие в растворах электролитов. Механизмы образования растворов электролитов. Энергия сольватации.

4.1.3. Ион-ионное взаимодействие в растворах электролитов. Термодинамическое описание равновесий в растворах электролитов. Теория Дебая-Хюккеля и коэффициенты активности. Применение теории Дебая-Хюккеля к слабым электролитам и смешанным растворам электролитов.

4.1.4. Неравновесные явления в растворах электролитов. Общая характеристика неравновесных явлений в растворах электролитов. Диффузия и миграция ионов в растворах. Удельная и эквивалентная электропроводности в растворах электролитов. Числа переноса и методы их определения. Предельные электропроводности ионов. Зависимость подвижности, электропроводности и чисел переноса от концентрации.

4.1.5. Расплавы и твердые электролиты. Строение ионных жидкостей и их электропроводность. Многокомпонентные расплавы. Свойства твердых электролитов.

### 3.4.2. Электрохимия гетерогенных систем

4.2.1. Основы термодинамики гетерогенных электрохимических систем. Электрохимический потенциал и равновесие на границе электрод/раствор. Равновесие в электрохимической цепи. Окислительно-восстановительные полуреакции и понятие электродного потенциала. Классификация электродов. Классификация электрохимических цепей. Метод ЭДС при определении коэффициента активности, чисел переноса, произведений растворимости и констант равновесия ионных реакций. Мембранное равновесие и мембранный потенциал. Ионоселективные электроды. Электрохимические биосенсоры и биологические мембраны. Биоэлектрохимия.

4.2.2. Двойной электрический слой и явления адсорбции на межфазных границах. Связь электрических и адсорбционных явлений на границе раздела фаз. Электрокапиллярные явления. Емкость двойного электрического слоя. Потенциалы нулевого заряда и механизм возникновения ЭДС электрохимической цепи. Развитие модельных представлений о строении двойного электрического слоя.

4.2.3. Электрохимическая кинетика. Стадия массопереноса. Общая характеристика электрохимических процессов. Поляризационная характеристика в условиях лимитирующей стадии массопереноса. Роль миграции в процессах массопереноса и падение потенциала в диффузионном слое. Полярографический метод. Константа скорости стадии массопереноса.

4.2.4. Электрохимическая кинетика. Кинетические закономерности стадии переноса заряда. Основные уравнения теории замедленного разряда. Поляризационные кривые и импеданс стадии переноса заряда. Теоретические представления об элементарном акте гомогенного и гетерогенного переноса электрона в полярных средах.

4.2.5. Кинетика сложных электрохимических реакций. Электродные реакции, осложненные образованием новой фазы. Сложные электродные процессы и прикладная электрохимия. Электродные материалы.

#### Список рекомендуемой литературы

1. Основы физической химии [Текст] : учеб. пособие: в 2 ч. / В. В. Еремин [и др.]. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : БИНОМ. Лаб. знаний. Ч.1: Теория. - 2013. - 320 с.
2. Основы физической химии [Текст] : учеб. пособие: в 2 ч. / В. В. Еремин [и др.]. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : БИНОМ. Лаб. знаний. Ч.2: Задачи. - 2013. - 263 с.
3. Чоркендорф, И. Современный катализ и химическая кинетика [Текст]: пер. с англ.: учеб. пособие / И. Чоркендорф, Х Наймантсведрайт. - 2-е изд. - Долгопрудный : ИД Интеллект, 2013. - 501 с.
4. Пентин, Ю. А. Физические методы исследования в химии [Текст]: учеб. / Ю.А.Пентин, Л.В.Вилков. - М.: Мир, 2006. - 683 с.
5. Стромберг, А. Г. Физическая химия [Текст]: учеб. / А.Г. Стромберг, Д.П. Семченко. - 6-е изд., стер. - М.: Высш. шк., 2006. - 527 с.
6. Коробов, В. И. Химическая кинетика [Текст]: введ. с Mathcad / Marle / MCS / В.И. Коробов, В.Ф. Очков. - М.: Горячая линия-Телеком, 2009. - 384 с.
7. Эткинс, П. Физическая химия [Текст]: в 3 ч.: Пер. с англ. / П. Эткинс; соавт. Дж. де Паула, ред. В. В. Лунин, ред. О. М. Полторака. - М.: Мир, 2007 - . Ч.1: Равновесная термодинамика. - 494 с.
8. Дамаскин, Б. Б. Электрохимия [Текст]: учеб. / Б. Б. Дамаскин, О. А. Петрий, Г. А. Цирлина. - 2-е изд., испр. и перераб. - М.: Химия: КолосС, 2006. - 670 с.
9. Лукомский, Ю. Я. Физико-химические основы электрохимии [Текст]: учеб. пособие / Ю. Я. Лукомский, Ю. Д. Гамбург. - 2-е изд., испр. - Долгопрудный: ИД Интеллект, 2013. - 446 с.
10. Романовский, Б. В. Основы химической кинетики [Текст]: учеб. / Б. В. Романовский. - М.: Экзамен, 2006. - 415 с.

11. Аналитическая и физическая химия: Учеб. пособие / В.В. Слепушкин, Б.М. Стифатов, Ю.В. Рублинецкая, Е.Ю. Мощенская. - Самара: Самар. гос. тех. ун-т, 2008. 392 с.
12. Термохимия: Учеб. пособие / С.Н. Яшкин, А.А. Светлов. - Самара: Самар. гос. тех. ун-т, 2008. 56 с.
13. Курс физико-химического анализа [Текст]: учеб. пособие / И. К. Гаркушин [и др.]; Самар. гос. техн. ун-т. - Самара: [б. и.], 2013. - 351 с.
14. Словарь-справочник по физико-химическому анализу [Текст]: учеб. пособие / Самар. гос. техн. ун-т; сост.: И. К. Гаркушин, М. А. Истомова. - Самара: [б. и.], 2012. - 236 с.

## **РАЗДЕЛ 4. НЕФТЕХИМИЯ**

### **4.1 Химический состав и свойства нефти**

#### **Происхождение нефти**

1. Генезис и химическая эволюция нефтей.
2. Органическая теория происхождения нефти.
3. Нефтематеринское вещество и его преобразование в нефть.
4. Биодеградация нефти в природных условиях.
5. Процесс нефтеобразования и химический состав нефти.
6. Биомаркеры. Влияние температуры и природных катализаторов на нефтематеринское вещество.
7. Минеральная теория происхождения нефти.

### **4.2 Свойства, состав и классификация нефтей**

1. Физико-химические свойства нефтей.
2. Химический состав нефти.
3. Фракционный состав нефтей. Направления переработки фракций.
4. Элементный, индивидуальный и структурно-групповой состав нефти.
5. Классификация нефтей: товарная, химическая, технологическая.

#### **4.1.3 Методы исследования нефтей**

1. Физические и физико-химические методы исследования нефтей.
2. Методы разделения и концентрирования компонентов: ректификация, хроматография, термическая диффузия.
3. Оптическая спектроскопия в анализе углеводородных и гетероатомных компонентов.
4. Молекулярная масс- и хромато-масс-спектроскопия в анализе углеводородных и гетероатомных компонентов.
5. Ядерный магнитный и парамагнитный резонанс в анализе углеводородных и гетероатомных компонентов.

#### **4.1.4 Углеводородные компоненты нефтей**

1. Алканы нефти. Распределение в нефтяных фракциях. Физические и химические свойства парафинов нормального и разветвленного строения. Газообразные парафины. Природный газ. Жидкие и твердые парафины. Парафин и церезин. Изопренаны нефти.
2. Циклоалканы нефти. Распределение в нефтяных фракциях. Углеводороды ряда циклогексана и циклопентана. Их содержание в нефтях. Важнейшие реакции. Синтез модельных углеводородов. Бициклические углеводороды нефти. Конденсированные и мостиковые би- и полициклические углеводороды. Адамантан и его гомологи. Тритерпаны, стераны и гопаны.
3. Арены нефти. Распределение в нефтяных фракциях. Типы ароматических углеводородов нефти и их определение в нефтях.

#### **4.1.5 Гетероатомные компоненты нефтей**

1. Сернистые соединения нефти. Распределение в нефтяных фракциях. Характеристика сернистых соединений и их определение в нефтях. Перспективы их практического использования.

2. Азотистые соединения нефти. Распределение в нефтяных фракциях. Основные типы, их характеристики и определение в нефтях.
3. Кислородные соединения нефти. Распределение в нефтяных фракциях. Нефтяные кислоты. Характеристика и содержание в нефти.
4. Смолистые и асфальтовые компоненты нефти. Распределение в нефтяных фракциях. Разделение и характеристика.
5. Металлосодержащие соединения нефти. Порфирины. Микроэлементы.

## **4.2. Нефтеперерабатывающая и газоперерабатывающая промышленность как источник основных видов нефтехимического сырья, жидких топлив и масел**

### **4.2.1 Нефть и газ как источники сырья для промышленного органического и нефтехимического синтеза**

1. Углеводородные газы: природный, попутный нефтяной, технологический. Состав и химические свойства. Направления переработки.
2. Прямогонный бензин. Состав и химические свойства. Направления переработки.
3. Прямогонные керосиновые фракции. Состав и химические свойства. Направления переработки.
4. Прямогонные дизельные фракции. Состав и химические свойства. Направления переработки.
5. Вакуумный газойль. Состав и химические свойства. Направления переработки.
6. Гудрон, нефтяные остатки. Состав и химические свойства. Направления переработки.

### **4.2.2 Промышленные процессы первичной переработки нефти и газа**

1. Электрообессоливание и первичная перегонка нефти.
2. Характеристика типичных нефтей, технология переработки и основные продукты.
3. Типовые схемы нефтеперерабатывающих заводов.
4. Переработка природного газа и газовых конденсатов.
5. Переработка попутного газа.

### **4.2.3 Промышленные процессы вторичной переработки нефти и газа**

1. Термический крекинг. Термодинамика и кинетика распада углеводородов различных рядов и молекулярной массы. Свободнорадикальный механизм термического крекинга углеводородов. Получение светлых нефтепродуктов термическим разложением остаточных фракций, улучшение качества котельного топлива, получение термогазойля и нефтяного кокса.

2. Пиролиз. Термодинамика и кинетика распада углеводородов различных рядов и молекулярной массы. Пиролиз нефтяных фракций и газового сырья для производства низших олефинов и ароматических углеводородов. Переработка газообразных и жидких продуктов пиролиза. Пиролиз метана и других углеводородов для получения ацетилена. Регенеративный, гомогенный и окислительный пиролиз. Электрокрекинг. Состав газов пиролиза и их разделение.

3. Каталитический крекинг. Сырье и его подготовка. Продукты крекинга. Катализаторы крекинга, строение алюмосиликатов и природа их каталитической активности. Роль протонной и апротонной кислотности. Цеолиты. Механизм протекающих реакций. Изменение свойств и регенерация катализаторов в процессе крекинга. Промышленные установки каталитического крекинга и основные технологические параметры.

4. Каталитический риформинг. Сырье и его подготовка. Продукты риформинга. Получение высокооктановых компонентов бензина и ароматических углеводородов. Катализаторы риформинга, основные реакции и механизм каталитического превращения нафтеновых, парафиновых и ароматических углеводородов. Изменение свойств и регенерация катализаторов в процессе риформинга. Промышленные установки каталитического риформинга и основные технологические параметры.

5. Гидрогенизационные процессы в нефтепереработке. Основное назначение, катализаторы, химические основы и механизм гидрогенизационных процессов. Гидроочистка моторных топлив, смазочных масел, парафинов, вакуумных дистиллятов и вторичных газойлей.

6. Реакторы и технология процессов гидроочистки.

7. Гидрообессеривание нефтяных остатков. Назначение, катализаторы, химические основы и механизм процесса.

8. Гидрокрекинг бензиновых фракций с получением моторных топлив, сжиженных газов и изопарафиновых углеводородов. Назначение, катализаторы, химические основы и механизм процесса.

9. Гидрогенизационные процессы в производстве смазочных масел. Назначение, катализаторы, химические основы и механизм процесса.

10. Гидродеалкилирование и другие гидрогенизационные процессы в производстве ароматических углеводородов. Назначение, катализаторы, химические основы и механизм процесса.

11. Производство парафинов. Производство жидких парафинов депарафинизацией дизельных фракций. Депарафинизация масляных фракций для получения твердых парафинов.

12. Производство оксида углерода и синтез-газа. Каталитическая конверсия метана и других углеводородов. Научные основы процесса и технологические параметры. Окислительная конверсия. Высокотемпературная окислительная конверсия углеводородов в отсутствие катализаторов. Очистка синтез-газа, получение концентрированного оксида углерода и водорода.

13. Нефтяные топлива. Общая характеристика основных видов топлива (автомобильное, дизельное, авиационное, реактивное, котельное и др.). Поведение и превращения углеводородов при сгорании в двигателях. Антидетонаторы и механизм их действия. Октановое число. Цетановое число.

14. Нефтяные масла. Смазочные масла и их основные характеристики. Синтетические присадки к смазочным маслам (антиокислители, депрессоры, моющие, вязкостные, противоизносные и др.), механизм их действия. Комплексные присадки. Технические масла.

### **4.3. Основные промышленные процессы нефтехимического синтеза**

#### **4.3.1 Процессы галогенирования**

1. Научные основы процессов галогенирования парафинов, олефинов, ацетилена, ароматических и алкилароматических углеводородов. Заместительное и присоединительное хлорирование.

2. Галогенирующие агенты, катализаторы и инициаторы, условия галогенирования.

3. Термическое, фотохимическое и окислительное галогенирование и механизм этих реакций.

4. Гидрохлорирование олефинов и ацетилена. Получение хлорметанов, хлорэтанов, аллилхлорида, хлорбутенов, хлорпарафинов, винилхлорида, хлор- и полихлорбензолов.

#### **4.3.2 Процессы гидратации**



1. Гидратация олефинов. Термодинамика, катализаторы и механизмы реакций гидратации.
2. Гидратация ацетилена. Термодинамика, катализаторы и механизмы реакций гидратации.
3. Синтез этанола, изопропанола, втор- и трет-бутанолов, ацетальдегида.

#### **4.3.3 Процессы алкилирования**

1. Алкилирование олефинами ароматических углеводородов. Катализаторы, механизм и кинетика реакции. Получение этил-, диэтил- и изопропилбензолов. Алкилирование бензола высшими олефинами. Алкилароматические пластификаторы, смазочные масла, присадки и сырье для поверхностно-активных веществ.
2. Алкилирование фенолов, производство стабилизаторов полимеров и масел.
3. Алкилирование парафинов, катализаторы и механизм реакции. Синтез высокооктановых моторных топлив.
4. О-алкилирование олефинами и ацетиленом. Синтез МТБЭ, винилацетата и виниловых эфиров спиртов.
5. Винилирование ацетиленом. Синтезы винилацетилена, акрилонитрила и винилпирролидона.

#### **4.3.4 Реакции олефинов с изменением молекулярной массы**

1. Димеризация и олигомеризация олефинов. Катализаторы димеризации и олигомеризации олефинов. Алюминийорганические соединения и синтезы на их основе. Производство линейных  $\alpha$ -олефинов. Синтез линейных первичных спиртов.
2. Метатезис (диспропорционирование) олефинов. Гомогенные и гетерогенные катализаторы. Механизм. Влияние положения кратной связи. Практическое использование и перспективы.

#### **4.3.5 Процессы окисления и эпоксицирования**

1. Окислительные агенты (молекулярный кислород, азотная кислота, пероксидные соединения).
2. Радикально-цепное окисление парафиновых и алкилароматических углеводородов. Кинетика и катализ реакции. Получение гидропероксидов трет-бутилбензола, этилбензола и изопропилбензола.
3. Получение спиртов и кислот окислением парафинов. Окисление нафтендов в спирты и кетоны. Окисление метилбензолов в ароматические кислоты.
4. Гетерогенно-каталитическое окисление углеводородов и их производных. Окисление ароматических и других углеводородов с образованием внутренних ангидридов ди- и тетракарбоновых кислот.
5. Окислительный аммонолиз олефинов и других углеводородов с образованием нитрилов. Окисление олефинов с сохранением двойной связи. Получение акролеина.
6. Окисление этилена до оксида этилена. Катализаторы окисления, механизм и кинетика реакций.
7. Эпоксицирование олефинов пероксикислотами, пероксидом водорода и гидропероксидами. Получение оксида пропилена. Синтез ацетальдегида и винилацетата из этилена.

#### **4.3.6 Процессы дегидрирования и гидрирования**

1. Термодинамика реакций дегидрирования и гидрирования. Катализаторы, механизм и кинетика реакций дегидрирования и гидрирования.

2. Каталитическое и термическое дегидрирование.
3. Дегидрирование алкилароматических соединений. Получение стирола,  $\alpha$ -метилстирола, дивинилбензола.
4. Дегидрирование парафинов и олефинов. Получение бутадиена и изопрена.
5. Окислительное дегидрирование олефинов.
6. Гидрирование ароматических углеводородов. Получение циклогексана.

#### 4.3.7 Синтезы на основе оксида углерода

1. Синтез углеводородов из СО и водорода. Катализ, условия и механизм реакции.
2. Синтез спиртов из СО и водорода. Получение метанола.
3. Синтез альдегидов и спиртов  $C_3-C_9$  из олефинов, СО и водорода (оксосинтез).
4. Синтез карбоновых кислот на основе реакции карбонилирования олефинов, ацетилена и спиртов. Перспективы синтезов с использованием оксида и диоксида углерода.

#### 4.3.8 Процессы сульфирования, сульфатирования, сульфоокисления и сульфохлорирования, нитрования

1. Сульфирующие агенты и условия их применения.
2. Механизм реакций. Получение алкилсульфонатов, олефинсульфонатов, алкилбензолсульфонатов, алкилсульфатов. Их значение в синтезе поверхностно-активных веществ. Области применения ПАВ, включая нефтедобычу.
3. Нитрующие агенты и условия их применения.
4. Механизм реакций. Нитрование парафинов, нафтенов и ароматических углеводородов. Области применения продуктов нитрования.

#### Список рекомендуемой литературы

- 1 Александров И.А. Перегонка и ректификация в нефтепереработке [Текст] / И. А. Александров. - М.: Химия, 1981. - 351 с.
- 2 Анализ нефти [Текст]: справ. : пер.с англ. / Дж. Г. Спейт. - СПб.: Профессия, 2010. - 479 с.
- 3 Атомная и молекулярная спектроскопия [Текст]: атом. спектроскопия / М. А. Ельяшевич. - 5-е изд. - М. : ЛИБРОКОМ, [2009]. - 527 с.
- 4 Берг Г.А. Каталитическое гидрооблагораживание нефтяных остатков [Текст] / Г.А.Берг,С.Г.Хабибуллин. - Л. : Химия, 1986. - 189 с.
- 5 Власов В.Г. Физико-химические свойства нефтей, нефтяных фракций и товарных нефтепродуктов [Текст]: учеб.пособие / Гос.образоват.учреждение высш.проф.образования Самар.гос.техн.ун-т. - 4-е изд., испр.и доп. - Самара: [б. и.], 2009. - 204 с.
- 6 Власов В.Г. Гидроочистка, гидрообессеривание и гидрокрекинг нефтяного сырья [Текст]: учеб.-метод. пособие / В. Г. Власов; Самар.гос.техн.ун-т. - 2-е изд., испр. - Самара: [б. и.], 2014. - 139 с.
- 7 Гидрогенизационные процессы нефтепереработки и физико-химические методы анализа получаемых продуктов [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А. А. Пимерзин [и др.]; Самар.гос.техн.ун-т, Химическая технология переработки нефти и газа. - Электрон. дан. - Самара: [б. и.], 2012.
- 8 Гордадзе Г.Н., Гируц М.В., Кошелев В.Н. Углеводороды нефти и их анализ методом газовой хроматографии: Учебное пособие.–М.: Изд. центр РГУ нефти и газа им.И.М.Губкина, 2010. – 237 с.
- 9 Горючие смазочные материалы [Текст]: энциклопед. толковый слов.-справ. / под ред. В. М. Школьников. - 2-е изд. - М.: Техинформ, 2010. - 753 с.

- 10 Гуревич И.Л. Общие свойства и первичные методы переработки нефти и газа [Текст]: учеб. / И. Л. Гуревич; ред. А. Г. Сарданашвили, ред. А.И. Скобло. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Химия, 1972. - 379 с.
- 11 Гуреев А.А. Химмотология [Текст]: [Учеб. для вузов] / А.А. Гуреев, И.Г. Фукс, В.Л. Лашхи. - М.: Химия, 1986. - 366 с.
- 12 Данилов А.М. Применение присадок в топливах [Текст] / А. М. Данилов. - М.: Мир, 2005. - 287 с.
- 13 Заботин Л.И. Химия и технология вторичных процессов переработки нефти [Текст]: учеб. пособие / Л. И. Заботин; Самар. гос. техн. ун-т. - Самара: [б. и.], 2014. - 331 с.
- 14 Казакова Л.П., Крейн С.Э., Физико-химические основы производства нефтяных масел. - М.: Химия, 1978. - 320 с.
- 15 Камнева А.И. Химия горючих ископаемых [Текст]: [Учеб. пособие] / А. И. Камнева. - М.: Химия, 1974. - 271 с.
- 16 Катализ в С1-химии [Текст]: пер. с англ.; Под ред. В. Кайма / Под ред. В. Кайма; ред. В. Кайм. - Л.: Химия, 1987. - 296 с.
- 17 Крекинг нефтяных фракций на цеолитсодержащих катализаторах [Текст] / Под ред. С.Н. Хаджиева. - М.: Химия, 1982. - 277 с.
- 18 Лебедев Н.Н. Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза [Текст]: учеб. / Н. Н. Лебедев. - 4-е изд., перераб. и доп.-Репр. изд. - М.: Альянс, 2013. - 589 с.
- 19 Мановян, А. К. Технология переработки природных энергоносителей [Текст]: учеб. пособие / А. К. Мановян. - М.: Химия, 2004. - 455 с.
- 21 Маслянский Г.Н. Каталитический риформинг бензинов [Текст]: химия и технология / Г.Н. Маслянский, Р.Н. Шапиро. - Л.: Химия, 1985. - 221 с.
- 21 Мейерс Р.А. Основные процессы нефтепереработки [Текст]: справ. / Р. А. Мейерс; пер. с 3-го англ. изд., под ред.: О. Ф. Глаголевой, О. П. Лыкова. - СПб.: Профессия, 2011. - 940 с.
- 22 Мухина Т.Н., Барабанов Н.Л., Барабаш С.Е. Пиролиз углеводородного сырья [Текст] / Т.Н. Мухина, Н.Л. Барабанов, С.Е. Барабаш. - М.: Химия, 1987. - 240 с.
- 23 Нефтепродукты. Топлива, смазочные масла и пластичные смазки. Определение основных показателей качества / В.А. Дорогочинская, И.Р. Облещикова, А.Ю. Килякова, Е.В. Голованова: Учебно-метод. пособие. - М.: ФГУП Изд-во "Нефть и газ" РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2013. - 74 с.
- 24 Переработка тяжелых нефтей и нефтяных остатков. Гидрогенизационные процессы [Текст]: пер. с англ. / Х. Анчита, Дж. Спейт. - СПб.: ЦОП "Профессия", 2013. - 380 с.
- 25 Потехин В.М. Основы теории химических процессов технологии органических веществ и нефтепереработки: учебник / В.М. Потехин, В.В. Потехин. - СПб.: Лань, 2014. - 887 с.
- 26 Суханов В.П. Каталитические процессы в нефтепереработке [Текст] / В. П. Суханов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Химия, 1973. - 414 с.
- 27 Танабе К. Катализаторы и каталитические процессы [Текст] / Пер. с яп. П.А. Образцова; Под ред. А.Л. Клячко. - М.: Мир, 1993. - 172 с.
- 28 Технология производства смазочных масел и спецпродуктов [Текст]: учеб. пособие / В. А. Тыщенко [и др.]; Самар. гос. техн. ун-т. - М.: ЛЕНАНД, 2014. - 234 с.
- 29 Томина Н.Н., Максимов Н.М., Пимерзин А.А. Методы очистки нефтяных фракций. Учебное пособие. Самара: СамГТУ, 2014. - 292 с.
- 30 Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение [Текст]: справочник / [И.Г. Анисимов, К.М. Батыштова, С.А. Бнатов и др.]; Под ред. В.М. Школьников. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Техинформ, 1999. - 596 с.
- 31 Физические методы исследования в химии [Текст]: учеб. / Ю.А. Пентин, Л.В. Вилков. - М.: Мир: АСТ, 2003. - 683 с.
- 32 Химия нефти и газа [Текст]: учеб. пособие / В. Д. Рябов. - М.: ФОРУМ, 2009. - 336 с.

- 33 Химия нефти и газа (в вопросах и ответах): учеб. пособие / Рябов В.Д., Сафиева Р.З., Гордадзе Г.Н., Чернова О.Б., Гируц М.В.- М.: ИЦ РГУ нефти и газа, 2014. - 169 с.
- 34 Чаудури У.Р. Нефтехимия и нефтепереработка. Процессы, технологии, интеграция. – СПб.: Профессия, 2014. - 432с.
- 35 Чоркендорф И. Современный катализ и химическая кинетика [Текст] : пер.с англ.:учеб. пособие / И. Чоркендорф, Х Наймантсведрайт. - 2-е изд. - Долгопрудный: ИД Интеллект, 2013. - 501 с.