

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»  
Химический факультет

УТВЕРЖДАЮ  
Декан химического факультета, Акад.  
РАН, профессор



«30» августа 2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
направленной на подготовку к сдаче кандидатского экзамена по специальности

**Органическая химия**

*Organic Chemistry*

**Уровень высшего образования:**

Программа подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре  
Органическая химия (104-01-00-143-хн)

Москва 2022

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с Требованиями к основным программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, самостоятельно устанавливаемыми Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова (приказ №1216 от 24 ноября 2021 г.) и паспортом научной специальности 1.4.3 "Органическая химия".

1. Краткая аннотация:

**Название дисциплины-** Органическая химия (Organic Chemistry)

**Цель** изучения дисциплины – подготовить аспирантов к сдаче экзамена кандидатского минимума по специальности, развить и углубить знания аспирантов о современном состоянии органической химии. Курс базируется на сформированных представлениях о строении и реакционной способности органических соединений, приобретённых ранее при освоении студенческих дисциплин, и помогает аспирантам углубить свои знания и вывести их на более высокий уровень, необходимый для успешного осуществления исследовательской деятельности в области органической химии. Курс является полезным при подготовке к сдаче экзамена кандидатского минимума по соответствующей специальности.

2. Уровень высшего образования – подготовка кадров высшей квалификации

3. Научная специальность: 1.4.3 Органическая химия, область науки: 1. Естественные науки

4. Место дисциплины (модуля) в структуре Программы аспирантуры: Дисциплины (модули), направленные на подготовку к кандидатским экзаменам - курс по специальности. Дисциплина может быть прослушана факультативно.

5. *Объем дисциплины (модуля) составляет 3 зачетные единицы, всего 108 часов, из которых 80 часов составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (72 часа занятия лекционного типа, 6 часов групповые консультации, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 28 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.*

6. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия.

Должны быть прослушаны курсы:

1. Общий курс органической химии,
2. Синтетические методы органической химии,
3. Введение в стереоселективный синтез,
4. Стратегия органического синтеза,
5. Химия гетероциклических соединений,
6. Физико-химические методы исследования структуры органических соединений.

## 7. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из их					Самостоятельная работа обучающегося, часы из их			
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации (*)	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка к коллоквиумам	Всего
Блок 1. Теоретические основы органической химии.	12	10					10			2
Блок 2. Исследование механизмов органических реакций. Интермедиаты.	30	22		2			24			6
Блок 3. Молекулярная фотофизика и фотохимия.	8	6					6			2
Блок 4. Создание связей углерод-углерод.	12	6		2			8			4
Блок 5. Создание связи углерод-гетероатом. Реакции окисления и восстановления.	14	8		2			10			4
Блок 6. Растворители в органической химии.	8	6					6			2

Блок 7. Химия природных соединений	10	8					8			2
Блок 8. Органические материалы.	8	6					6			2
Промежуточная аттестация: <i>зачет</i>	6					2	2			4
<b>Итого</b>	<b>108</b>	72		6		2	<b>80</b>			<b>28</b>

(\*) текущий контроль осуществляется в лекционное время

### **Блок 1. Теоретические основы органической химии.**

*Тема 1-1.* История органической химии. Основные вехи, этапы, периоды. История появления парадигм, концепций, направлений исследований.

*Тема 1-2.* Электронное строение органических соединений. Теория МО (по Кэри- Сандбергу).

*Тема 1-3.* Ароматичность и другие следствия сопряжения (по книге Гляйтера).

*Тема 1-4.* Кислоты и основания. Количественное описание электронных эффектов. Гамметтовские зависимости.

*Тема 1-5.* Стереохимия соединений и реакций.

Контрольная работа по Блоку 1 (Кэри-Сандберг, 5-е изд.).

### **Блок 2. Исследование механизмов органических реакций. Интермедиаты.**

*Тема 2-1.* Классификации органических реакций. (Марч. Тайльхаймер). Механизмы элементарных стадий. Термодинамика и кинетика. Теория переходного состояния.

*Тема 2-2.* Карбокатионы.

*Тема 2-3.* Карбанионы.

*Тема 2-4.* Карбены.

*Тема 2-5.* Радикалы.

*Тема 2-6.* Ион-радикалы.

*Тема 2-7.* Возбужденные состояния. Контрольная работа по Блоку 2.

### **Блок 3. Молекулярная фотофизика и фотохимия.**

*Тема 3-1.* Диаграмма Яблонского. Поглощение и испускание света. Основные пути дезактивации фото возбуждённых частиц.

*Тема 3-2.* Основные фотохимические превращения. Сравнение с «темновыми» реакциями.

Контрольная работа по Блоку 3.

### **Блок 4. Создание связей углерод-углерод.**

*Тема 4-1.* Основные принципы создания связей углерод-углерод. Гетеролитический и гомолитический подход.

*Тема 4-2.* Перициклические реакции.

*Тема 4-3.* Перегруппировки.

Контрольная работа по Темам 1-3.

*Тема 4-4.* Синтез циклов.

Контрольная работа по Теме 4.

**Блок 5. Создание связи углерод-гетероатом. Реакции окисления и восстановления.**

*Тема 5-1. Окисление.*

*Тема 5-2. Восстановление.*

Контрольная работа по Блоку 5.

**Блок 6. Растворители в органической химии.**

*Тема 6-1. Свойства основных растворителей.*

*Тема 6-2. Ионные жидкости.*

*Тема 6-3. Сверхкритические флюиды. Контрольная работа по Блоку 6.*

**Блок 7. Химия природных соединений**

*Тема 7-1. Углеводы.*

*Тема 7-2. Аминокислоты, белки.*

*Тема 7-3. Терпены, стероиды.*

Контрольная работа по Блоку 7.

**Блок 8. Органические материалы.**

*Тема 8-1. Подходы супрамолекулярной химии в получении новых материалов*

*Тема 8-2. Применение органических соединений в нанотехнологии. Контрольная работа по Блоку 8.*

## 8. Образовательные технологии.

Проводятся лекции с использованием мультимедийной техники.

9. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы по дисциплине (модулю): аспирантам предоставляется программа курса, план занятий и задания для самостоятельной работы, презентации к лекционным занятиям.

## 10. Ресурсное обеспечение

### Основная литература:

- 1) Дж. Марч. Органическая химия, т. 1-4. М.: "Мир", 1987.
- 2) О.А. Реутов, А.Л. Курц, К.П. Бутин. Органическая химия, ч. 1-4. М., Изд. МГУ, 1999.
- 3) Ф. Кери, Р. Сандберг. Углубленный курс органической химии. кн. 1, 2. М., "Химия", 1981.
- 4) J. Clayden, N. Greeves, S. Warren. Organic Chemistry. Oxford University Press, 2nd Ed., 2012.
- 5) В. Смит, А. Бочков, Р. Кэйпл. Органический синтез: наука и искусство. М.: "Мир", 2001.

### Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

- 1) Reaxys <https://www.reaxys.com>
- 2) Web of Science <https://www.webofknowledge.com>
- 3) Scopus <https://www.scopus.com>
- 4) SJR <https://www.scimagojr.com/journalrank.php>
- 5) NCBI <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>

### Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

- 1) Электронная библиотека МГУ <http://www.nbmgu.ru/publicdb/>
- 2) Поисковая система Google <https://www.google.ru/>
- 3) Google Академия <https://scholar.google.com/>
- 4) Библиотека научных статей PubMed <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>

### Материально-техническая база:

Компьютерный класс химического факультета. Помещение оснащено 22 персональными компьютерами для обучающихся, управляющим компьютером для преподавателя, проектором для показа слайдов, телевизионным экраном и интерактивной доской.

11. Язык преподавания – русский

12. Преподаватели:

*Профессор, доктор химических наук Вацадзе Сергей Зурабович, [szv@org.chem.msu.ru](mailto:szv@org.chem.msu.ru)*

*Доцент, кандидат химических наук Чепраков Андрей Владимирович, [avchep@avchem.ru](mailto:avchep@avchem.ru)*

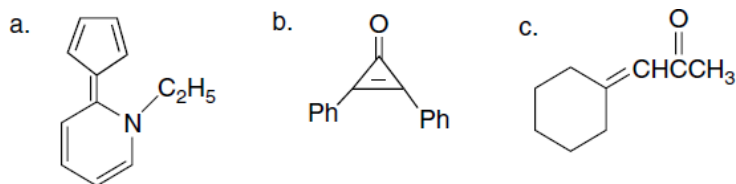
### Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

#### Примеры вопросов для контрольных работ и тестовых опросов:

Контрольная № 1-2

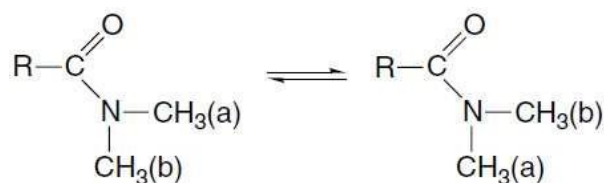
Тема: орбитали, строение органических соединений, стереохимия

1. Какие физические свойства (спектры поглощения, длины связей, дипольные моменты и пр.) следует применить для получения доказательств наличия резонансных взаимодействий (=сопряжения) в этих молекулах. Какие отклонения от «стандартных» значений Вы ожидаете?



2. Выполните следующие задания на свойства амидов.

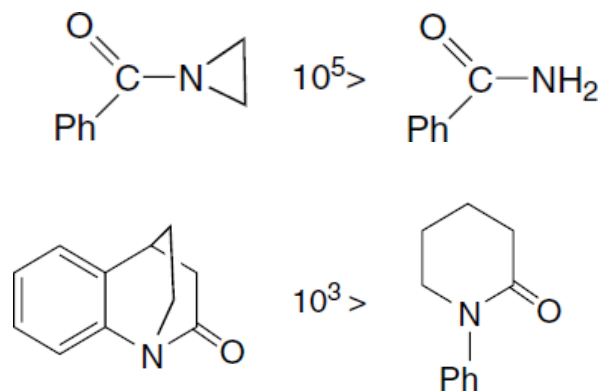
а. Карбоксамиды обладают барьером вращения вокруг C-N связи порядка 20 ккал/моль.



Предложите объяснение на основе теории резонанса и теории МО.

b. Полученное в газовой фазе значение барьера вращения в N,N-диметилформамиде равно 19.4 ккал/моль, что на .5 ккал/моль меньше, чем в растворе. Как эти данные можно связать с полученным Вами объяснением в п. а.?

с. Предложите объяснение разнице в относительных скоростях щелочного гидролиза этих формамидов.



3. Ознакомьтесь с данными по теплотам гидрирования ненасыщенных восьмичленных циклических углеводородов:

Соединение	$\Delta H_{H_2}$ , ккал/моль
Z,Z,Z,Z-1,3,5,7-Циклооктатетраен	97.06
Z,Z,Z-1,3,5-Циклооктатриен	76.39
Z,Z,Z-1,3,6-Циклооктатриен	79.91
Z,Z-1,3-Циклооктадиен	48.96
Z,Z-1,4-Циклооктадиен	52.09
Z,Z-1,5-Циклооктадиен	53.68
Z-Циклооктен	22.98
E-Циклооктен	32.24

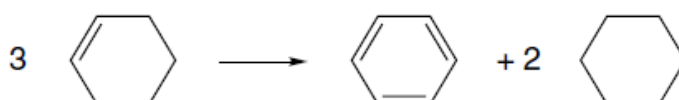
a) Обсудите разницу в значениях, используя значение теплоты гидрирования *цис*-двойной связи, равное 27.4 ккал/моль.

b) Полагая энергию напряжения циклооктана равной 9.3 ккал/моль, рассчитайте энергии напряжения каждого из приведенных соединений

с) Какую роль играет сопряжение двойных связей в определении конкретных теплот гидрирования?

d) На основании полученных данных можно ли сказать, приводит ли сопряжение к стабилизации или дестабилизации циклооктатетраена?

4. Для вычисления энергии резонансной стабилизации бензола по отношению к циклогексену удобной изодесмической реакцией является следующая:



$\Delta E = -35.3$  ккал/моль Аналогичный подход может быть применен к замещенным бензолам:

X	$\Delta E$ , ккал/моль
H	-35.3
CH <sub>3</sub>	-35.8
CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub>	-36.1
CH <sub>2</sub> =CH	-38.1
HC≡C	-37.3
H <sub>2</sub> N	-39.5

Как полученные данные, характеризующие электронные эффекты заместителей, соотносятся с качественным ожиданием на основе концепции резонанса? Как данные по стабилизации в случае заместителя коррелируют с вычисленными данными по двойными связям?

Stabilization (kcal/mol)

Substituent	HF/4-31G	HF/6-31G**
CH <sub>3</sub>	3.2	3.05
NH <sub>2</sub>	11.2	7.20
OH	6.6	6.43
OCH <sub>3</sub>	6.1	
F		0.99
Cl		-0.54
CH=O	4.5	
CN	2.4	
CF <sub>3</sub>	-2.5	

5. Объяснение влияние заместителей (и оценку соответствующих электронных эффектов) на кислотность замещенных карбоновых кислот обычно связывают с: (а) способностью заместителя стабилизировать отрицательный заряд аниона кислоты; (б) эффектами сольватации этого аниона. Однако необходимо принимать во внимание также и влияние на недиссоциированную кислоту. Ниже приведены значения энергии кислот и их анионов в газовой фазе и результирующие значения  $\Delta G$  для ионизации в газовой фазе.

X	Acid, $E_{\text{gas}}$	Anion, $E_{\text{gas}}$	$\Delta G$ (kcal/mol)
H	-189.551612	-189.005818	342.49
CH <sub>3</sub>	-228.792813	-228.241528	345.94
ClCH <sub>2</sub>	-687.945725	-687.414262	333.50
NCCH <sub>2</sub>	-320.909115	-320.386960	327.66
(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> C	-346.481196	-345.936639	341.71

Используя эти данные и данные следующей таблицы, попробуйте проанализировать влияние сольватации и собственно стабилизации аниона на наблюдаемую кислотность.



Calculated Solvation Energies CPCM/HF/6-31+G(d) (kcal/mol)

X-CO <sub>2</sub> H	HA	Exp	A <sup>-</sup>	Experimental
H	-8.23		-77.10	
CH <sub>3</sub>	-7.86	-6.69	-77.58	-77
ClCH <sub>2</sub>	-10.61		-70.57	
NCCH <sub>2</sub>	-14.52		-69.99	
(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> C	-6.70		-72.42	

Table 1.12. Calculated pK<sub>a</sub> Relative to Acetic Acid<sup>a</sup>

X-CO <sub>2</sub> H	CBS-4	CBS-QB3	G-2	G2(MP2)	G3	Experimental
H	2.46	3.10	3.83	3.88	4.02	3.75
CH <sub>3</sub> <sup>b</sup>	[4.75]	[4.75]	[4.75]	[4.75]	[4.75]	4.75
ClCH <sub>2</sub>	3.30	2.92	3.37	3.37	3.18	2.85
NCCH <sub>2</sub>	1.38	1.90	2.31	2.32	1.90	2.45
(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> C	5.08	4.75	6.28	6.24	6.20	5.03

a. CPCM/HF/6-31+G(d) continuum solvent model  
b. Reference standard.

6. Производные циклических аминов типа пиперидина обнаруживают существенное различие в свойствах аксиальных и экваториальных С-Н-связей при атомах С(2) и С(6). Аксиальные С-Н-связи *слабее* экваториальных, что следует из сдвигов полос валентного колебания в ИК-спектрах. Сигналы аксиальных протонов проявляются в ПМР-спектрах в более сильном поле. Аксиально расположенные метильные группы при атомах С(2) и С(6) *понижают* потенциал ионизации (ПИ) неподеленной пары электронов атома азота по сравнению с экваториальными. Обсудите указанные эффекты с позиций теории МО.

7. Постройте качественную картину диаграмм МО для следующих систем и обсудите как изменяются π-МО введенным заместителем:

- винилфторид – ср. с этиленом;
- пропеналь – ср. с этиленом;
- акрилонитрил – ср. с этиленом;
- пропен – ср. с этиленом;
- бензильный катион – ср. с бензолом;
- фторбензол – ср. с бензолом.

8. В простом методе МО Хюккеля предполагается, что орбитали, расположенные не на соседних атомах, не взаимодействуют. Концепция *гомосопряжения* предполагает, что такие орбитали могут взаимодействовать, особенно в жесткой структуре, где они направлены друг на друга. Обсудите норборнадиен (бицикло[2.2.1]гепта-2,5-диен):

- постройте диаграммы МО двойных связей по методу Хюккеля с соотв. энергиями;
- постройте качественную диаграмму МО, которые возникают в случае существенного перекрытия орбиталей при С(2)-С(6) и С(3)/С(5);
- потенциалы ионизации некоторых 2-замещенных норборнадиенов приведены ниже (в эВ). Оба значения относятся к π-системам. Используя теорию возмущения молекулярных орбиталей (ВМО), проанализируйте эффекты заместителей на ПИ. С помощью качественной картины МО покажите, как заместитель взаимодействует с двойной связью и как это отражается в итоге на значении ПИ.

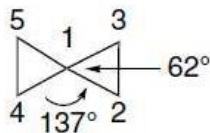
X	ПИ1	ПИ2
H	8.69	9.55
MeO	8.05	9.27
CN	9.26	10.12

9. Спиропентан обладает необычным напряжением и гибридизацией. Обсудите

следующие его особенности:

a. энергия напряжения спиропентана (62.5 ккал/моль) более, чем в два раза превышает соответствующее значения циклопропана (27.5 ккал/моль). Предложите объяснение;

b. структура спиропентана была определена методом РСА. Эндоциклические углы при спиро-атоме углерода равны 62°, валентные углы между С-С-связями соседних колец равны 137°. Как можно объяснить значение энергии напряжения с помощью анализа состояния гибридизации атомов углерода – используйте приведенные значения углов?

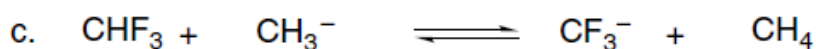
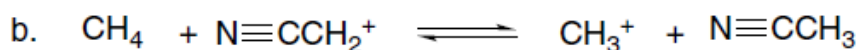
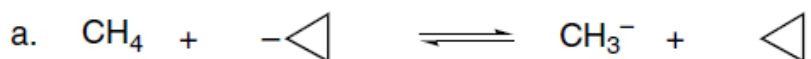


c. Доля *s*-характера связи С-С может быть оценена из КССВ 13С-13С при помощи уравнения:

$$J_{C_i-C_j} = K(s_i)(s_j),$$

где *K* – константа, равная 550 Гц, *s* – фракционный *s*-характер каждого из двух атомов. В спиропентане КССВ между С(1) и С(3) равна 20.2 Гц. КССВ между С(2) и С(3) равна 7.5 Гц. Рассчитайте *s*-характеры связей С(1)-С(3) и С(2)-С(3).

10. Объясните, будут ли указанные газофазные реакции термодинамически выгодными:

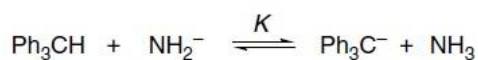


Для каждой пары реакции сделайте предположения, какая идет с большей скоростью или на большую глубину превращения:

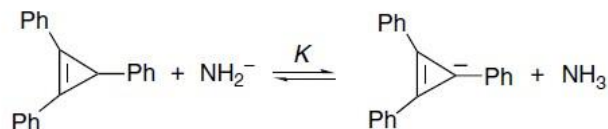
a.



b.



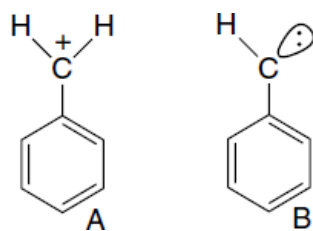
OR



c.



11. Расчеты показывают, что для бензильного катиона (А) степень двоевязности экзоциклической связи существенно больше, чем для синглетного фенилкарбена (В). Объясните эту разницу в терминах теории ВС и теории МО.



### Вопросы для промежуточной аттестации – зачета:

1. Основные подходы к изучению механизмов реакций: материальный баланс, кинетика, стереохимические корреляции, изотопные и структурные метки, влияние заместителей, растворителя, катализаторов, поиск нестабильных интермедиатов. Понятие о переходном состоянии.
2. Постулат Хэммонда. Принцип Кертвина-Гаммета. Селективность реакции. Кинетический и термодинамический контроль реакции.
3. Соотношение линейности свободных энергий в исследовании переходного состояния. Уравнение Гаммета. Константы заместителей и константы реакций. Уравнение Тафта.
4. Интермедиаты органических реакций, способы генерирования и методы детектирования. Рассмотрение стабилизирующего влияния заместителей методом возмущений молекулярных орбиталей.
5. Фотохимия органических соединений. Синглетные и триплетные состояния, флуоресценция и фосфоресценция, интеркомбинационная конверсия. Основные типы фотохимических реакций. Явление фотохромизма.
6. Карбокатионы, строение. Неклассические карбокатионы.
7.  $\square$ - и  $\square$ -Радикалы; строение и основные способы генерирования. Орбитальное рассмотрение стабилизации радикальных центров.
8.  $\square$ - и  $\square$ -Карбанионы; факторы, влияющие на их стабильность. Роль среды и противоиона. Амбидентные анионы и форма их МО. Шкала СН-кислотности.
9. Синглетные и триплетные карбены: Способы генерации, геометрия.
10. Генерирование катион- и анион-радикалов: химическое, фотохимическое, электрохимическое. Стабильные ион-радикалы.
11.  $\square$ -Орбитали линейных и циклических сопряжённых полиенов, их построение на основе метода возмущений, симметрия и узловые свойства. Особенности строения нечётных линейных полиенов.
12. Классификация перициклических реакций по Вудворду-Хоффману. Характерные особенности: высокая стерео- и региоселективность, изменение селективности при переходе от термической к фотохимической активации.
13. Реакции циклоприсоединения и циклораспада. Реакция Дильса-Альдера, объяснение региоселективности реакции на основе сравнения коэффициентов на концевых атомах граничных орбиталей диена и диенофила.
14. 1,3-Диполярное циклоприсоединение. 1,3-Диполи и их строение и классификация. Региоселективность.
15. Метод корреляционных диаграмм и его применение к анализу электроциклических реакций. Конротаторные и дисротаторные процессы.
16. Топологический анализ переходных состояний. Современные представления об ароматичности и антиароматичности. Примеры реальных систем, обладающих мебиусовской ароматичностью.
17. Донорно-акцепторные взаимодействия как элементарный акт многих органических и природных процессов. Кислоты Льюиса. Жёсткие и мягкие кислоты и основания. Орбитальный и зарядовый контроль. Применение принципа ЖМКО к органическим реакциям.
18. Кислоты Брэнстеда. Связь между протонной и льюисовской основностью, уравнение

- Эдвардса. Концентрированные растворы. Кислотные функции *HO*, *HA*, *HR*. Суперкислые среды.
19. Специфический и общий кислотный и основной катализ.
  20. Слабые (нековалентные) взаимодействия различной природы и их роль в биохимических процессах. Примеры слабых нековалентных взаимодействий: водородные связи,  $\pi$  стэкинг, образование интеркалятов, агостические взаимодействия.
  21. Стереoeлектронные эффекты, их влияние на селективность реакции
  22. Правила Болдуина.
  23. Нуклеофильное замещение в алифатическом ряду. Механизмы  $SN_1$  и  $SN_2$ , смешанный ионно-парный механизм. Влияние структуры субстрата и полярности растворителя на скорости и механизм реакции. Анхимерное содействие.
  24. Нуклеофильное замещение при кратной углерод-углеродной связи и в ароматическом ядре. Типичные механизмы нуклеофильного замещения у  $sp^2$ - гибридного атома углерода. Нуклеофильное замещение водорода (викариозное замещение). Комплексы Мейзенгеймера. Нуклеофильное замещение в ароматических гетероциклах. Кинезамещение.
  25. Реакции элиминирования. Механизмы гетеролитического элиминирования  $E_1$  и  $E_2$ . Стереoeлектронные требования и стереоспецифичность при  $E_2$ - элиминировании.
  26. Присоединение по кратным углерод-углеродным связям. Электрофильное присоединение. Сильные и слабые электрофилы, механизм и стереохимия присоединения, регио- и стереоселективность реакций.
  27. Нуклеофильное присоединение к карбонильной группе: присоединение оснований, включая карбанионы, металлоорганических соединений. Кислотный и основной катализ присоединения.
  28. Енолизация альдегидов и кетонов. Конденсации карбонильных соединений, карбоновых кислот и их производных.
  29. Двойственная реакционная способность и таутомерия органических соединений. Прототропные и сигматропные перегруппировки. Правило Корнблума. Кето-енольное равновесие. Нитросоединения и нитроновые кислоты, нитрозосоединения и оксимы. Металлотропия.
  30. Перегруппировки в карбокатионных интермедиатах. Примеры перегруппировок: пинаколиновая и ретропинаколиновая, Демьянова, Вагнера—Мейервейна. Секстетные перегруппировки с миграцией к атому азота (Гофмана, Курциуса, Бекмана). Реакция Байера-Виллигера.

#### **Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения**

Зачет проходит по билетам, включающим 3 вопроса. Уровень знаний аспиранта оценивается по каждому вопросу на «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». В случае если на все вопросы был дан ответ, оцененный не ниже, чем «удовлетворительно», аспирант получает общую оценку «зачтено».

<b>ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)</b>				
Оценка Результат	Незачёт (2)	Зачёт (3)	Зачёт (4)	Зачёт (5)

Знания	Отсутствие базовых знаний о современных концепциях и законах органической химии	Общие, но неглубокие знания о современных концепциях и законах органической химии, содержащие пробелы	Общие, но не структурированные знания о современных концепциях и законах органической химии	Сформированы систематические знания о современных концепциях и законах органической химии
Умения	Отсутствие умения применять знания о современном состоянии органической химии для решения научных задач	В целом успешное, но не систематическое умение применять знания о современном состоянии органической химии для решения научных задач	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять знания о современном состоянии органической химии для решения научных задач (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение применять знания о современном состоянии органической химии для решения научных задач
Навыки (владения)	Отсутствие навыков прогнозирования путей органического синтеза	Наличие навыков прогнозирования путей органического синтеза, не всегда верно используемых	В целом, сформированные навыки прогнозирования путей органического синтеза, но не в активной форме	Сформированные навыки прогнозирования путей органического синтеза, применяемые при решении задач