

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

«УТВЕРЖДАЮ»

Декан Химического факультета, член-корр. РАН



## **ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА**

**(для осуществления приема на обучение по образовательным программам высшего образования - программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре)**

### ***1.4.14. Кинетика и катализ***

Программа утверждена  
Приказом по факультету  
№809-22/104-ОСН от 27 мая 2022 г.

/  
Ученым советом факультета  
(протокол № 5 от 26 мая 2022 г.)

Москва - 2022

# I. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ

Настоящая программа вступительного экзамена в аспирантуру по специальности 1.4.14 Кинетика и катализ (физ-мат. науки) предназначена для осуществления приема на обучение по образовательным программам высшего образования - программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре и содержит основные темы и вопросы к экзамену, список основной и дополнительной литературы и критерии оценивания.

## II. ОСНОВНЫЕ РАЗДЕЛЫ И ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

### 1. Термодинамика

1. Основные понятия феноменологической термодинамики. Термодинамические свойства системы. Интенсивные и экстенсивные величины. Функции состояния и уравнения состояния.
2. Первый закон термодинамики. Внутренняя энергия, энтальпия. Теплоемкости. Закон Гесса, Уравнение Кирхгофа.
3. Второй закон термодинамики. Обратимые и необратимые процессы.
4. Неравенство Клаузиуса. Энергия Гельмгольца. Термодинамические потенциалы и характеристические функции. Фундаментальное уравнение Гиббса и Уравнение Гиббса-Гельмгольца.
5. Третий закон термодинамики, теорема Нернста, постулат Планка. Стандартные термодинамические функции вещества.
6. Критерии термодинамического равновесия систем и самопроизвольности протекания процессов. Фазовые и химические равновесия.
7. Растворы. Парциальные термодинамические величины. Химический потенциал. Уравнение Гиббса-Дюгема. Летучесть и активность. Закон действующих масс и константа равновесия. Уравнения изотермы, изобары и изохоры химической реакции.
8. Гетерогенные системы. Правило фаз Гиббса. Уравнение Клайперона - Клаузиуса. Диаграммы состояния. Химические реакции в гетерогенных системах.
9. Термодинамика поверхностных явлений. Адсорбция. Изотермы адсорбции Гиббса и Лэнгмюра.
10. Термодинамика электрохимических систем. Электрохимический потенциал и условия равновесия. ЭДС электрохимического элемента, электродный потенциал, уравнение Нернста.

### 2. Химическая кинетика и катализ

1. Основные понятия феноменологической кинетики: простые и сложные реакции, молекулярность и скорость реакции. Кинетический закон действия масс, константа скорости.
2. Способы определения скорости реакции. Кинетические уравнения для простых реакций. Порядок реакции способ его определения.

3. Сложные химические реакции. Квазистационарное приближение, метод Боденштейна. Кинетические уравнения для обратимых, последовательных и параллельных реакций. Цепные реакции.
4. Зависимость скорости реакции от температуры. Уравнение Аррениуса, энергия активации, способы ее определения.
5. Теория активных столкновений, расчет константы скорости бимолекулярной реакции. Мономолекулярные реакции, схема Линдемана.
6. Теория активированного комплекса. Поверхность потенциальной энергии. Расчет констант скорости.
7. Феноменология катализа. Теория промежуточных соединений. Принцип энергетического соответствия. Катализ и равновесие.
8. Механизм кислотно-основного гомогенного катализа. Влияние растворителя. Кинетика гомогенно-каталитических реакций. Роль процессов переноса.

### **3. Ферментативная кинетика**

1. Кинетика двухстадийных ферментативных реакций. Метод стационарных концентраций. Реакции в квазиравновесном режиме.
2. Ингибирование ферментативных реакций. Типы ингибирования. Методы обработки экспериментальных данных.
3. Активация двухстадийной ферментативной реакции. Анализ кинетических данных.
4. Субстратное ингибирование (полное и неполное) ферментативных реакций.
5. Кинетические особенности ферментативных реакций в условиях избытка субстрата, избытка фермента, сравнимых по величине концентраций субстрата и фермента.
6. Методы двухкомпонентного ингибирования ферментативных реакций.
7. Стационарная кинетика трехстадийных ферментативных реакций. Основные методы определения констант скоростей промежуточных реакций
8. Интегральные формы уравнений ферментативной кинетики. Основные методы обработки полной кинетической кривой.
9. Ингибирование фермента продуктом реакции.
10. Предстационарная кинетика двухстадийной ферментативной реакции.
11. Предстационарная кинетика трехстадийной ферментативной реакции. Определение концентрации активных центров фермента.
12. pH-Зависимость двухстадийной реакции. Ионизация фермента или субстрата.
13. pH-Зависимость трехстадийной реакции.
14. Определение концентрации активных центров фермента из кинетических данных.
15. Влияние температуры на кинетику ферментативных реакций. Энтальпия и энтропия активации.

16. Применение метода Диксона к анализу нетривиальных типов ингибирования. Кинетический метод двухкомпонентного обратимого ингибирования ферментативных реакций.
17. Смешанные типы ингибирования и активации. Определение констант ингибирования и активации из кинетических данных.
18. Полное и неполное ингибирование фермента субстратом. Кинетический анализ субстратного ингибирования.
19. Нахождение значений  $pK_a$  по кривым зависимостей ферментативных реакций. Анализ несимметричных колоколообразных кривых  $pH$ -зависимости.
20. Методы определения кинетических параметров ферментативной реакции с использованием полной кинетической кривой. Инактивация фермента в ходе реакции, влияние субстрата на скорость инактивации субстрата.

#### **4. Принципы ферментативного катализа**

1. Белки как биокатализаторы. Типы гомогенного катализа. Сближение и ориентация, кислотно-основной, электрофильный и нуклеофильный. Сравнение ферментов с органическими катализаторами гомогенного типа (эффективность действия, специфичность и стереоспецифичность, регуляторные свойства ферментов). Аминокислоты, их кислотно-основные свойства, полярность, гидрофобность и гидрофильность (параметр Ганша).
2. Механизм сорбции молекул и ионов на активном центре. Водородная связь, электростатические взаимодействия, гидрофобные взаимодействия. Комплексы с переносом заряда и оценка их вклада в сорбцию субстрата на ферменте, конформационные изменения в структуре белка и лиганда, сопровождающие сорбцию. Оценка свободной энергии сорбции (экстракционная и экстракционно-конформационная модели).
3. Свободная энергия сорбции субстрата на ферменте как источник ускорения химической реакции. Профили "свободная энергия – координата реакции". Оценка масштабов величины свободной энергии сближения реагентов. Сравнение скорости и свободной энергии ферментативной и неферментативной реакции. Модель "ключ-замок". Специфическое, продуктивное и непродуктивное связывание субстрата и фермента. Механизм сближения и ориентации в ферментативном катализе. Теория напряжения (или деформации) и индуцированного соответствия (Кошланд).
4. Химические механизмы ферментативных реакций. Стабилизация переходного состояния общим кислотно-основным катализом. Примеры кислотно-основного катализа различными функциональными группами в белках (карбоксильная группа, аминогруппа, амидная группа, имидазол, гидроксильная группа). Механизмы эстафетной передачи заряда и "hush-pull". Промежуточные ковалентные соединения в ферментативном катализе. Эффекты микросреды активного центра. Влияние растворителя на реакции нуклеофильного замещения. Внутренняя реакционная способность функциональных групп в белках.

5. Роль ионов металлов в ферментативном катализе. Взаимосвязь координационного числа, геометрии комплекса, примеры комплексов металлов с различной геометрией в биологических системах. Устойчивость комплексов, влияние на нее заряда и размера иона, “жесткости” и “мягкости” центрального атома и лиганда, основности лиганда, хелатного и макроциклического эффектов. Комплексообразование ионов металлов с белками. Механизмы взаимодействия фермента, иона металла и лиганда. Химические механизмы участия ионов металлов в ферментативном катализе. Окислительно-восстановительные реакции с участием ионов металлов и их роль в биологических процессах.

### **III. РЕФЕРАТ ПО ИЗБРАННОМУ НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ**

Реферат по избранному направлению подготовки представляет собой обзор литературы по теме будущего научного исследования и позволяет понять основные задачи и перспективы развития темы будущей диссертационной работы. Реферат включает титульный лист, содержательную часть, выводы и список литературных источников. Объем реферата 10-15 страниц машинописного текста. В отзыве к реферату предполагаемый научный руководитель дает характеристику работы и рекомендуемую оценку, входящую в общий экзаменационный балл.

### **IV. ПРИМЕР ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО БИЛЕТА**

**Вопрос 1.** Первый закон термодинамики. Внутренняя энергия, энтальпия. Теплоемкости. Закон Гесса, Уравнение Кирхгофа.

**Вопрос 2.** Предстаационарная кинетика двухстадийной ферментативной реакции.

**Вопрос 3.** Содержание реферата по теме диссертационного исследования (с приложением реферата и отзыва на реферат с отметкой предполагаемого научного руководителя).

### **V. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

#### **1. ОСНОВНАЯ**

1. Кнорре Д.Г., Крылова Л.Ф., Музыкантов В.С. Физическая химия, М.: Высшая школа, 1990.
2. Полторак О.М. Термодинамика в физической химии М.: Высшая школа, 1991.
3. Еремин Е.Н. Основы химической кинетики. Второе издание. М.: Высшая школа, 1976.
4. Корниш –Боуден Э. Основы ферментативной кинетики. Пер. с англ. / М.: Мир, 1979.

## 2. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

1. Варфоломеев С.Д. Химическая энзимология, М.: Академия, 2005.
2. Фершт Э. Структура и механизм действия ферментов. Пер. с англ. / М.: Мир, 1980.

## V. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

Уровень знаний поступающих в аспирантуру МГУ оценивается по десятибалльной шкале. Вступительное испытание считается пройденным, если абитуриент получил семь баллов и выше. При отсутствии поступающего на вступительном экзамене в качестве оценки проставляется неявка. Результаты сдачи вступительных экзаменов сообщаются поступающим в течение трех дней со дня экзамена путем их размещения на сайте и информационном стенде структурного подразделения.

### Критерии и показатели оценивания ответа на вступительном экзамене по специальности поступающих в аспирантуру Химического факультета МГУ

Вступительный экзамен по специальности в аспирантуру химического факультета проводится в устной форме, по экзаменационным билетам, и состоит из 3х вопросов (2х вопросов по различным разделам программы вступительного экзамена и вопроса по реферату).

	0	Нет ответа ни на один из трех заданных вопросов, либо отказ от ответа.
Минимальный уровень знаний	1	Отсутствуют ответы на оба заданных теоретических вопроса, существенные недочеты при изложении темы реферата, выявленные при его экспертной оценке, либо указанные в отзыве.
	2	Отсутствуют ответы на оба заданных теоретических вопроса, незначительные недочеты при изложении темы реферата, выявленные при его экспертной оценке, либо указанные в отзыве.
Низкий уровень знаний	3	Отсутствует ответ на один из заданных теоретических вопросов, фрагментарный ответ на второй заданный теоретический вопрос, значительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, за исключением изложения темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
	4	Отсутствует ответ на один из заданных теоретических вопросов, неполный ответ на второй заданный теоретический вопрос, значительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, за исключением изложения темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).

Средний уровень знаний	5	Отсутствует ответ на один из заданных теоретических вопросов, полный ответ на второй заданный теоретический вопрос, значительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, за исключением изложения темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
	6	Неполные ответы на оба заданных теоретических вопроса, значительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, за исключением изложения темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
Достаточный уровень знаний	7	Полные ответы на оба заданных теоретических вопроса, незначительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, либо незначительные недочеты при изложении темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
	8	Полные ответы на оба заданных теоретических вопроса, незначительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, либо незначительные недочеты при изложении темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
Высокий уровень знаний	9	Исчерпывающие ответы на все заданные вопросы, свободное владение материалом, имеются недочеты при сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, либо незначительные недочеты при изложении темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
	10	Исчерпывающие ответы на все заданные вопросы, свободное владение материалом, грамотное сопоставление и анализ сведений из различных разделов программы, уверенное владение темой реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).

## VI. АВТОРЫ

1. д.х.н., проф. Клячко Н.Л.
2. д.х.н. проф. Кудряшова Е.В.