

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

«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. декана Химического факультета,  
д.х.н., проф.

  /С.С. Карлов /  
«13» февраля 2025 г.

## **ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА**

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

### ***1.4.6 Электрохимия***

Программа утверждена  
Ученым советом факультета  
(протокол № 1 от 13 февраля 2025 г.)

Москва - 2025

## **I. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ**

Настоящая программа вступительного экзамена в аспирантуру по специальности *1.4.6 Электрохимия (по химическим наукам)* 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 и статистическая термодинамика**

Основные понятия феноменологической термодинамики. Термодинамические свойства систем. Интенсивные и экстенсивные величины. Функции состояния и уравнения состояния. Первый закон термодинамики. Внутренняя энергия, энтальпия. Теплоемкости. Закон Гесса, уравнение Кирхгофа.

Второй закон термодинамики. Обратимые и необратимые процессы. Неравенство Клаузиуса. Энергия Гельмгольца, энергия Гиббса. Критерии термодинамического равновесия систем и самопроизвольности протекания процессов.

Термодинамические потенциалы и характеристические функции. Фундаментальное уравнение Гиббса. Уравнения Гиббса – Гельмгольца. Третий закон термодинамики, теорема Нернста, постулат Планка. Стандартные термодинамические функции веществ.

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.

Гетерогенные системы. Правило фаз Гиббса. Уравнение Клайперона – Клаузиуса. Диаграммы состояния.

Термодинамика поверхностных явлений. Адсорбция. Изотермы адсорбции Гиббса и Ленгмюра. Полимoleкулярная адсорбция. Адсорбционные методы исследования дисперсных систем.

Микро- и макросостояния системы. Фазовое пространство. Эргодическая гипотеза. Термодинамическая вероятность и ее связь с энтропией. Распределение Максвелла – Больцмана, средние величины. Квантовая статистика. Распределение Бозе – Эйнштейна и Ферми – Дирака.

Поступательная сумма по состояниям и расчет термодинамических свойств идеального газа. Вращательная, колебательная и электронная суммы по состояниям. Суммы по состояниям молекулы и системы молекул. Стандартные суммы по состояниям и расчет констант химического равновесия.

### **2. Химическая кинетика**

Основные понятия феноменологической кинетики: простые и сложные реакции, молекулярность и скорость простой реакции. Кинетический закон действующих масс, константа скорости.

Способы определения скорости реакции. Кинетические уравнения для простых

реакций. Порядок реакции, способы его определения.

Сложные химические реакции. Квазистационарное приближение, метод Боденштейна. Кинетические уравнения для обратимых, последовательных и параллельных реакций. Неразветвленные и разветвленные цепные реакции.

Зависимость скорости реакции от температуры, уравнение Аррениуса, энергия активации, способы ее определения.

Теория активных столкновений, расчет константы скорости бимолекулярной реакции. Мономолекулярные реакции, схема Линдемана.

Теория активированного комплекса. Поверхность потенциальной энергии. Расчет константы скорости.

### **3. Основы электрохимии**

Ион-дипольные взаимодействия в растворах электролитов. Модель Борна и ее ограничения. Числа сольватации, методы их определения.

Ион-ионные взаимодействия в растворах электролитов. Модель Дебая-Хюккеля для расчета коэффициентов активности, пределы ее применимости. Поведение коэффициентов активности при высоких концентрациях электролитов.

ЭДС электрохимической цепи. Равновесные потенциалы, уравнение Нернста. Электроды сравнения для водной и неводных сред.

Строение заряженной межфазной границы электрод/раствор при электростатической адсорбции ионов и при адсорбции с переносом заряда. Модель Гуи-Чапмена. Адсорбционные методы определения поверхности электродов.

Кинетика электродных процессов в условиях диффузионных ограничений. Вращающийся дисковый электрод. Полярография. Вольтамперометрия. Микроэлектроды.

Кинетика электродных процессов в условиях медленной стадии переноса электрона. Влияние температуры, потенциала и концентрации электролита фона на скорость электродного процесса.

## **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.** Термодинамика поверхностных явлений. Адсорбция. Изотермы адсорбции Гиббса и Ленгмюра. Полимолекулярная адсорбция. Адсорбционные методы исследования дисперсных систем.

**Вопрос 2.** Зависимость скорости реакции от температуры, уравнение Аррениуса, энергия активации, способы ее определения.

**Вопрос 3.** Ион-ионные взаимодействия в растворах электролитов. Модель Дебая-Хюккеля для расчета коэффициентов активности, пределы ее применимости. Поведение коэффициентов активности при высоких концентрациях электролитов.

**Вопрос 4.** Содержание реферата по теме диссертационного исследования (с приложением реферата и отзыва на реферат с отметкой предполагаемого научного руководителя).

## **V. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

### **1. ОСНОВНАЯ**

1. Полтораки О.М. Термодинамика в физической химии. М.: Высшая школа, 1991.
2. Панченков Г.М., Лебедев В.П. Химическая кинетика и катализ. М.: Химия, 1985.
3. Эткинс П., Паула Дж. Физическая химия, Ч.1. М.: Мир, 2007.
4. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Цирлина Г.А. Электрохимия. М.: Химия, 2001; М.: КолосС-Химия, 2006; СПб.: Лань, 2015.
5. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А. Введение в электрохимическую кинетику. М.: Высшая школа, 1983.

### **2. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ**

1. Эткинс П. Физическая химия, т.1 и 2. М.: Мир, 1980.
2. Мэлвин-Хьюз Э.А. Физическая химия, т.1 и 2. М.: Иностранная литература, 1962.
3. Фрумкин А.Н., Багоцкий В.С., Иофа З.А., Кабанов Б.Н. Кинетика электродных процессов. М.: изд-во МГУ, 1952.
4. Багоцкий В.С. Основы электрохимии. Л.: Химия, 1988.
5. Корыта И., Дворжак И., Богачкова В. Электрохимия. М.: Мир, 1977.
6. Ньюмен Дж. Электрохимические системы. М.: Мир, 1977.
7. Феттер К. Электрохимическая кинетика. М.: Химия, 1967.

## **VI. 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 4х вопросов (3х 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, грамотные сопоставление и анализ сведений из различных разделов программы, уверенное владение темой реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва). |
|--|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## **VII. АВТОРЫ**

1. Цирлина Галина Александровна, д.х.н., профессор