

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА  
ПО КОНКУРСНОЙ ГРУППЕ «ФЭФМ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ»  
ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ В АСПИРАНТУРУ**

**Вопросы по выпускной квалификационной работе (магистратура или специалитет)**

1. Основные положения.
2. Новизна.
3. Актуальность.

**Химические науки**

1. Основные положения классической теории химического строения. Структурная формула и граф молекулы. Изомерия. Конформации молекул. Связь строения и свойств молекул.
2. Механическая модель молекулы. Потенциалы парных взаимодействий. Методы молекулярной механики и молекулярной динамики при анализе строения молекул.
3. Общие принципы квантово-механического описания молекулярных систем. Стационарное уравнение Шредингера для свободной молекулы. Адиабатическое приближение. Электронное волновое уравнение.
4. Потенциальные кривые и поверхности потенциальной энергии. Их общая структура и различные типы. Равновесные конфигурации молекул. Структурная изомерия. Оптические изомеры.
5. Колебания молекул. Нормальные колебания, амплитуды и частоты колебаний, частоты основных колебательных переходов. Колебания с большой амплитудой.
6. Вращение молекул. Различные типы молекулярных волчков. Вращательные уровни энергии.
7. Электронное строение атомов и молекул. Одноэлектронное приближение. Атомные и молекулярные орбитали. Электронные конфигурации и термы атомов. Правило Хунда. Электронная плотность. Распределение электронной плотности в двухатомных молекулах. Корреляционные орбитальные диаграммы. Теорема Купманса. Пределы применимости одноэлектронного приближения.
8. Интерпретация строения молекул на основе орбитальных моделей и исследования распределения электронной плотности. Локализованные молекулярные орбитали. Гибридизация.
9. Электронная корреляция в атомах и молекулах. Ее проявления в свойствах молекул. Метод конфигурационного взаимодействия.
10. Представления о зарядах на атомах и порядках связей. Различные методы выделения атомов в молекулах. Корреляция дескрипторов электронного строения и свойств молекул. Индексы реакционной способности. Теория граничных орбиталей.
11. Точечные группы симметрии молекул. Понятие о представлениях групп и характерах представлений. Общие свойства симметрии волновых функций и потенциальных поверхностей молекул. Классификация квантовых состояний атомов и молекул по симметрии.
12. Влияние симметрии равновесной конфигурации ядер на свойства молекул и их динамическое поведение. Орбитальные корреляционные диаграммы. Сохранение орбитальной симметрии при химических реакциях.
13. Дипольный момент и поляризуемость молекул. Магнитный момент и магнитная восприимчивость. Эффекты Штарка и Зеемана. Магнитно-резонансные методы исследования строения молекул. Химический сдвиг.
14. Оптические спектры молекул. Вероятности переходов и правила отбора при переходах между различными квантовыми состояниями молекул. Связь спектров молекул с их строением. Определение структурных характеристик молекул из спектроскопических данных.

15. Основные составляющие межмолекулярных взаимодействий. Молекулярные комплексы. Ван-дер-ваальсовы молекулы. Кластеры атомов и молекул. Водородная связь. Супермолекулы и супрамолекулярная химия.
16. Строение молекул простых и координационных неорганических соединений. Полиядерные комплексные соединения. Строение основных типов органических и элементарноорганических соединений. Соединения включения. Полимеры и биополимеры.
23. Жидкости. Мгновенная и колебательно-усредненная структура жидкости. Ассоциаты и кластеры в жидкостях. Флуктуации и корреляционные функции. Структура простых жидкостей. Растворы неэлектролитов. Структура воды и водных растворов. Структура жидких электролитов.
24. Мицеллообразование и строение мицелл.
25. Мезофазы. Пластические кристаллы. Жидкие кристаллы (нематики, смектики, холестерики и др.).
26. Особенности строения поверхности кристаллов и жидкостей, структура границы раздела конденсированных фаз. Молекулы и кластеры на поверхности. Структура адсорбционных слоев.
27. Макроскопические системы и термодинамический метод их описания. Термическое равновесие системы. Температура. Различные шкалы температур. Термодинамические параметры. Интенсивные и экстенсивные величины.
28. Обратимые и необратимые процессы и их свойства. Уравнения состояния. Уравнение состояния идеального газа, газа Ван-дер-Ваальса. Теорема о соответственных состояниях и общая проблема уравнения состояния. Вириальные уравнения состояния.
29. Теплота и работы различного рода. Работа расширения для различных процессов. Работа цикла Карно. Лемма Карно. Первый закон термодинамики. Внутренняя энергия. Энтальпия. Закон Гесса и его следствия. Стандартные состояния и стандартные теплоты химических реакций. Теплоты сгорания. Теплоты образования.
30. Зависимость теплового эффекта реакции от температуры. Формула Кирхгоффа. Зависимость теплоемкости от температуры и расчеты тепловых эффектов реакций. Таблицы стандартных термодинамических величин и их использование в термодинамических расчетах.
31. Второй закон термодинамики и его различные формулировки. Энтропия. Уравнение второго начала термодинамики для обратимых и необратимых процессов. Обоснование второго закона термодинамики. Теорема Карно-Клаузиуса.
32. Энтропия как функция состояния. Изменение энтропии при различных процессах. Изменение энтропии изолированных процессов и направление процесса. Постулат Планка и абсолютная энтропия веществ. Статистический характер второго закона термодинамики. Формула Больцмана.
33. Фундаментальные уравнения Гиббса. Характеристические функции. Энергия Гельмгольца, энергия Гиббса и их свойства. Уравнения Максвелла. Использование уравнений Максвелла для вывода различных термодинамических соотношений.
34. Связь между калорическими и термодинамическими переменными. Методы вычисления энтропии, внутренней энергии, энтальпии, энергии Гельмгольца и энергии Гиббса. Условия равновесия и критерии самопроизвольного протекания процессов, выраженные через характеристические функции.
35. Уравнение Гиббса-Гельмгольца и его роль в химии. Работа и теплота химического процесса.
36. Фундаментальные уравнения Гиббса для открытых систем. Химические потенциалы, их определение, вычисление и свойства. Химический потенциал идеального и неидеального газов. Метод летучести. Различные методы вычисления летучести из опытных данных.

37. Растворы различных классов. Различные способы выражения состава раствора. Смеси идеальных газов. Термодинамические свойства газовых смесей. Идеальные растворы в различных агрегатных состояниях и общее условие идеальности растворов.
38. Давление насыщенного пара жидких растворов. Закон Рауля и его термодинамический вывод. Неидеальные растворы и их свойства. Метод активностей. Коэффициенты активности и их определение по парциальным давлениям веществ.
39. Стандартные состояния при определении химических потенциалов компонентов растворов. Симметричная и несимметричная системы отсчета.
40. Коллигативные свойства растворов. Изменение температуры затвердевания различных растворов. Криоскопический метод. Зонная плавка и ее практические применения. Осмотические явления. Уравнение Вант-Гоффа, его термодинамический вывод и область применимости. Общее рассмотрение коллигативных свойств растворов.
41. Термодинамическая классификация растворов. Функции смешения для идеальных и неидеальных растворов. Предельно разбавленные растворы, атермальные, регулярные, строго регулярные растворы и их свойства.
42. Парциальные мольные величины и их определение из опытных данных для бинарных систем. Уравнения Гиббса-Дюгема.
43. Равновесие жидкость-пар в двухкомпонентных системах. Равновесные составы пара и жидкости. Закон Рауля-Дальтона. Различные виды диаграмм состояния. Законы Гиббса-Коновалова. Разделение веществ путем перегонки. Азеотропные смеси и их свойства.
44. Гетерогенные системы. Понятие фазы, компонента, степени свободы. Правило фаз Гиббса и его вывод.
45. Однокомпонентные системы. Диаграммы состояния воды, серы. Фазовые переходы первого рода, Уравнение Клапейрона-Клаузиуса и его применение к различным фазовым переходам первого рода. Фазовые переходы второго рода. Уравнение Эренфеста.
46. Двухкомпонентные системы. Различные диаграммы состояния двухкомпонентных систем и их анализ на основе правила фаз. Трехкомпонентные системы. Треугольники Гиббса и Розебома. Взаимная растворимость в системе трех жидкостей.
47. Закон действия масс. История его открытия и современная трактовка. Различные виды констант равновесия и связь между ними. Химическая переменная. Химическое равновесие в идеальных и неидеальных системах. Термодинамический вывод закона действия масс.
48. Изотерма Вант-Гоффа. Изменение энергии Гиббса и энергии Гельмгольца при химической реакции. Термодинамическая трактовка понятия о химическом сродстве. Принцип Бергло и область его применимости. Расчеты констант равновесия химических реакций с использованием таблиц стандартных значений термодинамических функций. Приведенная энергия Гиббса и ее использование для расчетов химических равновесий.
49. Расчета выхода продуктов химических реакций различных типов. Выходы продуктов при совместном протекании нескольких химических реакций.
50. Зависимость констант равновесия от температуры. Уравнения изобары и изохоры реакции; их термодинамический вывод. Использование различных приближений для теплоемкостей реагентов при расчетах химических равновесий при различных температурах.
51. Гетерогенные химические равновесия и особенности их термодинамического описания.
52. Явления адсорбции. Адсорбент. Адсорбат. Уравнение Генри. Константа адсорбционного равновесия. Уравнение Ленгмюра, его термодинамический вывод и условия применимости.

53. Адсорбция. Адсорбент, адсорбат. Виды адсорбции. Структура поверхности и пористость адсорбента. Локализованная и делокализованная адсорбция. Мономолекулярная и полимолекулярная адсорбция. Динамический характер адсорбционного равновесия.
54. Изотермы и изобары адсорбции. Уравнение Генри. Константа адсорбционного равновесия. Уравнение Лэнгмюра. Адсорбция из растворов. Уравнение Брунауэра-Эмета-Теллера (БЭТ) для полимолекулярной адсорбции. Определение площади поверхности адсорбента.
55. Поверхность раздела фаз. Свободная поверхностная энергия, поверхностное натяжение, избыточные термодинамические функции поверхностного слоя. Изменение поверхностного натяжения на границе жидкость – пар в зависимости от температуры. Связь свободной поверхностной энергии с теплотой сублимации (правило Стефана), модулем упругости и другими свойствами вещества.
56. Эффект Ребиндера: изменение прочности и пластичности твердых тел вследствие снижения их поверхностной энергии.
57. Капиллярные явления. Зависимость давления пара от кривизны поверхности жидкости. Капиллярная конденсация. Зависимость растворимости от кривизны поверхности растворяющихся частиц (закон Гиббса-Оствальда-Фрейндлиха).
58. Механическое описание молекулярной системы. Фазовые Г- и  $\square$ -пространства. Функция распределения Максвелла-Больцмана. Ее использование для вычисления средних скоростей и энергий молекул в идеальных газах.
59. Статистические средние значения макроскопических величин. Ансамбли Гиббса. Метод функций распределения для канонического и макроканонического ансамблей. Основные постулаты статистической термодинамики.
60. Каноническая функция распределения Гиббса. Сумма по состояниям как статистическая характеристическая функция. Статистические выражения для основных термодинамических функций - внутренней энергии, энтропии, энергии Гельмгольца и энергии Гиббса.
61. Молекулярная сумма по состояниям и сумма по состояниям макроскопической системы. Поступательная сумма по состояниям. Составляющие энтропии, внутренней энергии и теплоемкости, обусловленные поступательным движением.
62. Вращательная сумма по состояниям для жесткого ротатора. Составляющие для внутренней энергии, теплоемкости, энтропии, обусловленные вращательным движением.
63. Колебательная сумма по состояниям для гармонического осциллятора. Составляющие внутренней энергии, теплоемкости и энтропии, обусловленные колебательным движением. "Замороженные" колебательные степени свободы и их свойства.
64. Расчет констант равновесия химических реакций в идеальных газах методом статистической термодинамики.
65. Распределение Бозе – Эйнштейна и Ферми – Дирака. Вырожденный идеальный газ. Электроны в металлах. Уровень Ферми. Статистическая теория Эйнштейна идеального кристалла, теория Дебая. Точечные дефекты кристаллических решеток. Равновесные и неравновесные дефекты. Вычисление сумм по состояниям для кристаллов с различными точечными дефектами. Нестехиометрические соединения
66. Основные положения термодинамики неравновесных процессов. Локальное равновесие. Флуктуации. Функция диссипации. Потoki и силы. Скорость производства энтропии. Зависимость скорости производства энтропии от обобщенных потоков и сил. Соотношения взаимности Онсагера. Стационарное состояние системы и теорема Пригожина.
67. Химическая кинетика - наука о скоростях и механизмах химических реакций. Несоответствие механизмов реакций и их стехиометрических уравнений. Механизм разложения  $N_2O$ ,  $N_2O_5$ , синтеза  $HBr$  и  $HI$ .

68. Основные понятия и законы химической кинетики. Определение скорости химической реакции. Кинетические кривые. Кинетические уравнения. Определение константы скорости и порядка реакции. Реакции переменного порядка и изменение порядка в ходе реакции на примере реакции образования  $\text{HBr}$ . Молекулярность элементарных реакций.
69. Кинетический закон действия масс и область его применимости. Составление кинетических уравнений для известного механизма реакции. Прямая и обратная задачи химической кинетики. Зависимость константы скорости от температуры. Уравнение Арениуса. “Эффективная” и “истинная” энергии активации.
70. Необратимые реакции первого, второго и третьего порядков. Определение констант скорости из опытных данных. Методы определения порядка реакции и вида кинетического уравнения.
71. Сложные реакции. Принцип независимости элементарных стадий. Методы составления кинетических уравнений. Обратимые реакции первого порядка. Определение элементарных констант из опытных данных. Параллельные реакции. Последовательные реакции на примере двух необратимых реакций первого порядка. Кинетические кривые накопления отдельных продуктов.
72. Кинетический анализ процессов, протекающих через образование промежуточных продуктов. Принцип квазистационарности Боденштейна и область его применимости.
73. Элементарные процессы возникновения, продолжения, разветвления и обрыва цепей. Длина цепи. Различные методы расчета скорости неразветвленных цепных реакций. Применение метода стационарности для составления кинетических уравнений неразветвленных цепных реакций на примере темнового образования  $\text{HBr}$ .
74. Разветвленные цепные реакции. Кинетические особенности разветвленных цепных реакций. Предельные явления в разветвленных цепных реакциях на примере реакции окисления водорода. Полуостров воспламенения. Период индукции. Зависимость скорости реакции на нижнем пределе воспламенения от диаметра сосуда и природы его поверхности.
75. Применение метода квазистационарных концентраций для описания предельных явлений в окрестностях первого и второго пределов воспламенения. Тепловой взрыв и условия воспламенения на третьем пределе.
76. Теория соударений. Упругие, неупругие, химические соударения. Общее число столкновений. Множитель Больцмана. Число активных столкновений. Стерический фактор. Теоретический расчет константы скорости бимолекулярной реакции. Применение теории соударений к бимолекулярным реакциям. Теория соударений в применении к мономолекулярным реакциям. Схема Линдемана и ее сопоставление с опытными данными. Причины неточности схемы Линдемана. Поправки Хиншельвуда и Касселя. Понятие о теории РРКМ.
77. Элементарные акты химических реакций и физический смысл энергии активации. Поверхность потенциальной энергии для взаимодействия трех атомов водорода. Сопоставление результатов приближенных и точных расчетов поверхности потенциальной энергии для этой системы.
78. Теория переходного состояния (активированного комплекса). Свойства активированного комплекса. Статистический расчет константы скорости. Основные допущения теории активированного комплекса и область его применимости. Трансмиссионный коэффициент.
79. Термодинамический аспект теории активированного комплекса. Энтропия активации. Соотношения между опытной и истинной энергией активации. Объяснение “повышенных” и “заниженных” значений предэкспоненциального множителя.
80. Бимолекулярные реакции. Теория активированного комплекса в применении к бимолекулярным реакциям различного типа. Теория соударений в применении к

- бимолекулярным реакциям. Сопоставление результатов теории соударений и теории активированного комплекса.
81. Тримолекулярные реакции. Применение теории активированного комплекса для описания тримолекулярных реакций с участием оксида азота. Теория соударений в применении к тримолекулярным реакциям. Сопоставление результатов обеих теорий.
  82. Элементарные фотохимические процессы. Фотохимические активные частицы. Эксимеры, эксиплексы и их свойства. Изменение физических и химических свойств молекул при электронном возбуждении. Квантовый выход. Закон фотохимической эквивалентности Эйнштейна-Штарка. Определение кинетических постоянных фотохимических реакций методом стационарных концентраций.
  83. Определение катализа. Общие принципы катализа. Роль катализа в химии. Основные промышленные каталитические процессы. Примеры механизмов каталитических процессов.
  84. Гомогенный катализ. Кислотно-основной катализ. Классификация реакций кислотно-основного типа. Кинетика и механизм реакций специфического кислотного катализа. Функции кислотности Гаммета и их использование для вычисления скорости реакции и кинетических постоянных. Кинетика и механизм реакций общего кислотного катализа. Уравнение Бренстеда и его использование в кинетике каталитических реакций. Корреляционные уравнения для энергий активации и теплот реакций. Уравнение Семенова в кинетике радикальных реакций. Специфический и общий основной катализ, нуклеофильный и электрофильный катализ.
  85. Катализ комплексными соединениями переходных металлов. Гомогенные реакции гидрирования, их кинетика и механизмы. Каталитическое окисление этилена комплексными соединениями палладия.
  86. Ферментативный катализ. Общие сведения о кинетике и механизмах ферментативных реакций. Применение принципа стационарности для вычисления начальной скорости гомогенной каталитической реакции с участием одного реагента. Уравнение Михаэлиса — Ментэн. Определение кинетических постоянных этого уравнения из опытных данных.
  87. Гетерогенный анализ. Определение скорости гетерогенной каталитической реакции. Удельная и атомная активность. Явление отравления катализаторов. Активность и селективность катализаторов. Роль адсорбции в кинетике гетерогенных каталитических реакций. Энергия активации каталитических реакций. Неоднородность поверхности катализаторов. Нанесенные катализаторы.
  88. Металлы как катализаторы. Теория мультиплетов Баландина. Принцип геометрического и энергитического соответствия. Область применения теории мультиплетов. Нанесенные катализаторы. Теория активных ансамблей Кобозева. Основные промышленные каталитические процессы.
  89. Предмет электрохимии. Определение теоретической электрохимии, ее разделы и связь с задачами прикладной электрохимии. Общая характеристика электрохимических процессов, их специфика. Химический и электрохимический способы осуществления окислительно-восстановительных реакций.
  90. Равновесие в растворах электролитов. Развитие представлений о строении и свойствах растворов электролитов. Основные положения теории Аррениуса. Экспериментальное обоснование, недостатки этой теории. Химическая теория Д. Менделеева. Ион-дипольное взаимодействие как основное условие термодинамической устойчивости растворов электролитов. Цикл Борна-Габер, соотношение между энергией кристаллической решетки и энергией сольватации ионов. Термодинамическое описание ион-ионного взаимодействия.
  91. Представления Льюиса об активности и коэффициентах активности, ионные и средние ионные величины, связь между ними. Электростатическая теория Дебая-Гюккеля, основные допущения. Потенциал и радиус ионной сферы. Время релаксации.

- Уравнения для коэффициента активности в первом, втором и третьем приближении теории, вывод уравнений. Согласование расчетных и экспериментальных величин коэффициентов активности. Термодинамические свойства ионов.
92. Неравновесные явления в растворах электролитов. Законы Фарадея. Удельная и эквивалентная электропроводность. Подвижность ионов, зависимость от природы электролита, природы растворителя, температуры и концентрации. Уравнения Кольрауша и Онзагера. Числа переноса и методы их определения. Методы Гитторфа и движущейся границы. Электрофоретический и релаксационный эффекты; эффекты Вина и Дебая-Фалькенгагена. Механизм электропроводности водных растворов кислот и щелочей. Электропроводность неводных растворов, ассоциация частиц. Правило Вальдена.
  93. Условия электрохимического равновесия на границах раздела фаз. Понятие электрохимического потенциала. Электродный потенциал, механизмы возникновения скачка потенциала на границе металл – раствор. Плотность тока обмена. Термодинамика электродного равновесия, формула Нернста. Стандартный потенциал. Двойной электрический слой, модельные представления о структуре (Гельмгольц, Гуи-Чапмен-Грэм, Штерн). Явления адсорбции и перезарядки двойного электрического слоя.
  94. Электрокапиллярные явления, основное уравнение электрокапиллярности, уравнение Липпмана. Емкость двойного электрического слоя, зависимость от потенциала электрода. Потенциал нулевого заряда. Проблема абсолютного нуля потенциалов. Классификация электродов: электроды 1-го и 2-го рода, окислительно-восстановительные, газовые, амальгамные, ионселективные.
  95. Равновесные электрохимические цепи, физическая и химическая теории возникновения ЭДС. Термодинамика гальванического элемента. Понятие поверхностного, внешнего и внутреннего потенциалов, разности потенциалов Гальвани и Вольта. Обратимость электрохимических цепей. Проблема Вольта. Диффузионный потенциал, возникновение, расчет, элиминирование. Классификация элементов: химические, концентрационные, амальгамные, физические. Определение физико-химических характеристик систем на основе измерений ЭДС: термодинамические функции, константы равновесия, средние ионные коэффициенты активности, рН растворов, числа переноса. Элементы многократного действия, технические характеристики. Кислотные и щелочные аккумуляторы. Топливные элементы.
  96. Плотность тока как мера скорости электродного процесса. Поляризация электродов и перенапряжение электрохимического процесса. Стадийность электродного процесса, понятие лимитирующей стадии. Диффузионное перенапряжение. Механизмы массопереноса: диффузия, конвекция и миграция. Диффузионная кинетика в условиях молекулярной стационарной диффузии. Поток диффузии, уравнение Фика. Предельные диффузионные токи, зависимость от концентрации. Полярография. Электрохимическое перенапряжение, теория замедленного разряда. Влияние строения двойного электрического слоя на электрохимическую кинетику.
  97. Коррозия, классификация. Гравиметрический, волюмометрический и электрохимический методы определения скорости коррозии. Электрохимическая коррозия, механизм коррозии, сопряженные реакции. Водородная и кислородная деполяризация, зависимость от рН коррозионной среды. Коррозия сплавов и технических металлов. Теория локальных элементов. Стационарный потенциал и коррозионный ток. Коррозионные диаграммы. Диаграммы Пурбе. Методы защиты металлов от коррозии. Ингибиторы коррозии. Понятие о пассивности металлов. Электросинтез органических соединений, преимущества по сравнению с химическим синтезом. Примеры.

## Литература

1. Вилков Л. В., Пентин Ю. А. Физические методы исследования в химии. М.: Изд-во МГУ. Ч. 1. 1987. Ч. 2. 1989.
2. Минкин В. И., Симкин Б. Я., Миняев Р. М. Теория строения молекул. Ростов-Дон: Феникс. 1997.
3. Степанов Н. Ф. Квантовая механика и квантовая химия. М.: Мир, Изд-во МГУ. 2001.
4. Фларри Р. Квантовая химия. М.: Мир. 1985.
5. Полтораки О. М. Термодинамика в физической химии М.: Высшая школа. 1991
6. Пригожин И., Кондепуди Д. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур. М.: Мир. 2002
7. Смирнова Н. А. Методы статистической термодинамики в физической химии. М.: Высшая школа. 1982.
8. Дамаскин Б. Б., Петрий О. А. Введение в электрохимическую кинетику. М.: Высшая школа. 1983.
9. Денисов Е. Т., Саркисов О. М., Лихтенштейн Г. И. Химическая кинетика. М.: Химия. 2000.
10. Эмануэль Н. М., Кнорре Д. Г. Курс химической кинетики. М.: Высшая школа. 1984.
11. Бейдер Р. Атомы в молекулах. М.: Мир. 2001
12. Цирельсон В. Г., Зоркий П. М. Распределение электронной плотности в кристаллах органических соединений. Итоги науки и техники. Кристаллохимия. М.: ВИНТИ. 1986.
13. Минкин В. И., Симкин Б. Я., Миняев Р. М. Квантовая химия органических соединений. Механизмы реакций. М.: Химия. 1986.
14. Агеев Е. П. Неравновесная термодинамика в вопросах и ответах. М.: Химический ф-т МГУ. 1999.
15. Адамсон А. Физическая химия поверхностей. М.: Мир. 1979.
16. Дамаскин Б. Б., Петрий О. А., Цирлина Г. А. Электрохимия. М.: Химия. 2001. 624 с.
17. Даниэльс Ф. Олберти Р. Физическая химия. М.: Мир. 1978.
18. Дуров В. А., Агеев Е. П. Термодинамическая теория растворов неэлектролитов. М.: Изд-во МГУ. 1987.
19. Хаазе Р. Термодинамика необратимых процессов М.: Мир. 1967.
20. Эткинс Н. Физическая химия. Т. 1 и 2. М.: Мир. 1980
21. Панченков Г. М., Лебедев В. П. Химическая кинетика и катализ. М.: Химия. 1985.