

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Структурное подразделение «Радиоэлектроники и телекоммуникационных систем»

УТВЕРЖДЕНА:
на заседании кафедры
Протокол №13 от 02 июня 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

«КИНЕТИКА ГОМОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ»

Направление: 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Компоненты микро- и наносистемной техники

Квалификация: Бакалавр

Форма обучения: очная

Документ подписан простой
электронной подписью
Составитель программы:
Бадьрова Наталия Моисеевна
Дата подписания: 20.06.2025

Документ подписан простой
электронной подписью
Утвердил: Ченский Александр
Геннадьевич
Дата подписания: 21.06.2025

Документ подписан простой
электронной подписью
Согласовал: Ниндакова Лидия
Очировна
Дата подписания: 21.06.2025

Год набора – 2025

Иркутск, 2025 г.

1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

1.1 Дисциплина «Кинетика гомогенных процессов» обеспечивает формирование следующих компетенций с учётом индикаторов их достижения

Код, наименование компетенции	Код индикатора компетенции
ОПК ОС-4 Способность самостоятельно проводить экспериментальные исследования, анализировать полученные результаты, использовать основные приемы обработки и представления полученных данных с применением современных компьютерных и информационных технологий	ОПК ОС-4.1

1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы

Код индикатора	Содержание индикатора	Результат обучения
ОПК ОС-4.1	Способен определять скорость химического процесса по экспериментальным данным; знаком со способами решения прямой и обратной задачи химической кинетики; способен использовать основные приемы обработки и представления полученных данных с применением современных компьютерных и информационных технологий	Знать способы решения прямой и обратной задачи химической кинетики Уметь определять скорость химического процесса по экспериментальным данным Владеть приемами обработки и представления полученных данных с применением современных компьютерных и информационных технологий

2 Место дисциплины в структуре ООП

Изучение дисциплины «Кинетика гомогенных процессов» базируется на результатах освоения следующих дисциплин/практик: «Химия», «Физика», «Дискретная математика»

Дисциплина является предшествующей для дисциплин/практик: «Материаловедение наноструктурированных материалов», «Химия наноматериалов и наносистем», «Производственная практика: преддипломная практика»

3 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет – 4 ЗЕТ

Вид учебной работы	Трудоемкость в академических часах (Один академический час соответствует 45 минутам астрономического часа)	
	Всего	Семестр № 3
Общая трудоемкость дисциплины	144	144
Аудиторные занятия, в том числе:	64	64
лекции	16	16
лабораторные работы	32	32

практические/семинарские занятия	16	16
Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование)	44	44
Трудоемкость промежуточной аттестации	36	36
Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	Экзамен	Экзамен

4 Структура и содержание дисциплины

4.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

Семестр № 3

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)		№	Кол. Час.	
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Основные понятия и методы формальной кинетики	1	2			1	2			Устный опрос
2	Кинетические уравнения и методы их изучения.	2	2	1, 4	16	2, 5	4			Устный опрос
3	Кинетический закон действующих масс.	3	2			6	2	1, 2	8	Устный опрос
4	Уравнение Вант-Гоффа – Аррениуса (дифференциальная и интегральная формы).	4	2	3	8	7	4			Устный опрос
5	Кинетическое описание необратимых реакций первого порядка в закрытых системах	5	2	2	8			1, 2, 3	12	Контрольная работа
6	Необратимые реакции второго порядка.	6	2			3	2	3, 3	8	Устный опрос
7	Необратимые последовательные реакции первого порядка.	7	2			4	2	1, 2	8	Устный опрос
8	Основные понятия и применения катализа, определения и классификации	8	2					1, 3	8	Устный опрос

	Промежуточная аттестация								36	Экзамен
	Всего		16		32		16		80	

4.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

Семестр № 3

№	Тема	Краткое содержание
1	Основные понятия и методы формальной кинетики	Экспериментальное определение скорости химической реакции. Кинетический эксперимент и обработка результатов
2	Кинетические уравнения и методы их изучения.	Вид кинетического уравнения. Молекулярность и порядок реакции (стехиометрический и кинетический). Методы определения порядка реакции
3	Кинетический закон действующих масс.	Кинетический закон действующих масс и принцип независимости реакций, прямая и обратная кинетические задачи. Зависимость константы скорости химической реакции от температуры
4	Уравнение Вант-Гоффа – Аррениуса (дифференциальная и интегральная формы).	Уравнение Вант-Гоффа – Аррениуса (дифференциальная и интегральная формы).
5	Кинетическое описание необратимых реакций первого порядка в закрытых системах	Время полупревращения и среднее время жизни исходных молекул. Обратимая реакция первого порядка и определение ее кинетических параметров. Скорость реакции и химическое сродство
6	Необратимые реакции второго порядка.	Необратимые реакции второго порядка и определение констант скорости из опытных данных. Время полупревращения
7	Необратимые последовательные реакции первого порядка.	Кинетическая задача о двухстадийной необратимой последовательной реакции первого порядка и ее решение. Концентрация промежуточного продукта. Метод квазистационарных концентраций. Лимитирующие стадии сложных(последовательных) химических реакций. Параллельные и конкурирующие реакции первого порядка
8	Основные понятия и применения катализа, определения и классификации	Основные понятия и применения катализа, определения и классификации катализаторов и процессов

4.3 Перечень лабораторных работ

Семестр № 3

№	Наименование лабораторной работы	Кол-во академических часов
---	----------------------------------	----------------------------

1	Определение константы скорости инверсии тростникового сахара	8
2	Определение константы скорости и энергии активации реакции йодирования ацетона	8
3	Изучение скорости реакции омыления эфира и определение энергии активации	8
4	Изучение кинетики разложения комплексного иона триоксалата марганца фотометрическим методом	8

4.4 Перечень практических занятий

Семестр № 3

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических часов
1	Скорость химической реакции. Порядок реакции. Методы определения. Анализ кинетических уравнений	2
2	Реакции нулевого и первого порядка. Время полупревращения и среднее время жизни исходных молекул	2
3	Необратимые реакции второго порядка и определение констант скорости из опытных данных	2
4	Необратимые последовательные реакции первого порядка. Концентрация промежуточного продукта. Метод квазистационарных концентраций. Лимитирующие стадии сложных (последовательных) химических реакций	2
5	Параллельные и конкурирующие реакции первого порядка	2
6	Закон действующих масс. Зависимость константы скорости химической реакции от температуры	2
7	Расчеты по уравнениям Вант-Гоффа и Аррениуса. Методы расчета энергии активации	4

4.5 Самостоятельная работа

Семестр № 3

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Оформление отчетов по лабораторным и практическим работам	16
2	Подготовка к сдаче и защите отчетов	12
3	Проработка разделов теоретического материала	16

В ходе проведения занятий по дисциплине используются следующие интерактивные методы обучения: метод дискуссии, мозговой штурм, анализ конкретных учебных ситуаций

5 Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины

5.1 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

5.1.1 Методические указания для обучающихся по практическим занятиям

Задания

Дайте определение терминов «порядок» и «молекулярность» реакции. Могут ли эти характеристики изменяться а) в процессе протекания реакции при постоянной температуре, б) при изменении температуры?

Реакцию n -го порядка проводили при различных начальных концентрациях и определяли ее начальную скорость. Как из этих экспериментальных данных определить порядок реакции и константу скорости

Примеры задач с решениями

Пример 1. Реакция имеет целочисленный порядок от 1 до 3. Отношения времен превращения $\tau_{1/5}/\tau_{1/2} = 0.25$, где $\tau_{1/5}$ – время превращения на одну пятую часть, $\tau_{1/2}$ – период полупревращения. Найдите порядок реакции.

Решение. Отношение времен превращения $\tau_{1/5}/\tau_{1/2} = ((5/4)^n - 1) / (2^n - 1) = 0.25$. $n = 2$.

Ответ: 2.

Пример 2. Для обратимой реакции 1-го порядка константы скорости прямой реакции при 27°C и 37°C равны 3.5 и 8.5 мин⁻¹, а константы равновесия при этих температурах равны $2.33 \cdot 10^{-6}$ и $4.72 \cdot 10^{-6}$ соответственно. Рассчитайте теплоту реакции и энергии активации прямой и обратной реакций. Можно ли в данном случае использовать уравнение Вант-Гоффа?

Решение:

Для обратимой реакции константа равновесия равна $K = k_1/k_{-1}$, для обратной реакции константы скорости равны: $k_{-1}(300\text{ K}) = 3.5/2.33 \cdot 10^{-6} = 1502146$ мин⁻¹, $k_{-1}(310\text{ K}) = 8.5/4.72 \cdot 10^{-6} = 1800847$ мин⁻¹. Энергия активации реакции: $E_a = (RT_1 - T_2) / (T_2 - T_1) \ln(kT_2 / kT_1)$. Для прямой реакции энергия активации составляет $E_{a,пр} = 8.314 \times 300 \times 310 / 10 \ln 8.5/3.5 = 68606$ [Дж моль⁻¹], для обратной реакции: $E_{a,обр} = 8.314 \times 300 \times 310 / 10 \ln 1800847/1502146 = 14023$ [Дж моль⁻¹]. Энтальпия реакции $[\Delta_r H = E_{a,пр} - E_{a,обр}] = (RT_1 - T_2) / (T_2 - T_1) \ln(KT_2 / KT_1) = 54583$ [Дж моль⁻¹]. Уравнение Вант-Гоффа можно использовать, если $E_a \approx 50 \div 100$ кДж·моль⁻¹. Следовательно, в указанном интервале температур для прямой реакции это правило применимо, для обратной – нет.

Ответ: 54583 Дж·моль⁻¹, 68606 Дж·моль⁻¹, 14023 Дж·моль⁻¹.

Пример 3. По приведенным экспериментальным данным по адсорбции азота на рутиле (TiO₂) при 75 K:

$p \cdot 10^{-2}$, Па 60,94 116,41 169,84 218,65 272,25

A , моль/кг 0,367 0,417 0,467 0,512 0,567

постройте график уравнения БЭТ в линейной форме. Найдите константы A_∞ и C .

Рассчитайте удельную поверхность адсорбента. Давление насыщенного пара азота при указанной температуре $p_s = 78,3 \cdot 10^3$ Па, площадь, занимаемая одной молекулой азота, $s_0 = 0,16$ нм².

Решение. В линейной форме уравнение БЭТ имеет вид:

$(p/p_s) / (A(1-p/p_s)) = 1 / (A_\infty C) + (C-1) / (A_\infty C) \cdot p/p_s$, найдем значения p/p_s и $(p/p_s) / (A(1-p/p_s))$

p/p_s 0,078 0,149 0,217 0,279 0,348
 $(p/p_s)/(A(1-p/p_s))$, кг/ моль 0,219 0,420 0,593 0,756 0,941
 По эти данным построим график (Рис.1) и найдем значения

Рисунок 1

$$a=1/(A_{\infty} C)=0,027 \text{ и } \operatorname{tg}\alpha= (C-1)/(A_{\infty} C)=2,61$$

Тогда $A_{\infty} = 37,9 \cdot 10^{-2}$ моль/кг; $C = 97,7$. Удельную поверхность адсорбента рассчитаем по уравнению $S_{уд} = A_{\infty} N A s_0 = 37,9 \cdot 10^{-2} \cdot 6,02 \cdot 1023 \cdot 16 \cdot 10^{-20} = 36,51 \cdot 10^3$ м²/кг.

Задача 1. Постройте кривую капиллярной конденсации и интегральную кривую распределения пор по размерам для активного угля, пользуясь экспериментальными данными капиллярной конденсации паров бензола при 293К.

$p \cdot [10]^{-2}$, Па 19,8 29,9 39,8 59,6 79,7 89,4 98,3

A , моль/кг

адсорбция 4,5 5,4 6,5 10,2 14,4 17,0 20,0

десорбция 4,5 6,0 9,0 13,9 17,5 19,0 20,0

При этой температуре для бензола молярный объем $V_M = 89 \cdot [10]^{-6}$ м³/моль, поверхностное натяжение $\sigma = 28,9$ мДж/м², давление насыщенного пара $p_s = 99,3 \cdot [10]^3$ Па.

Задача 2. Адсорбция растворенного в воде ПАВ на поверхности ртуть-вода подчиняется уравнению Ленгмюра. При концентрации ПАВ 0,2 моль/л степень заполнения поверхности $\theta = 0,5$. Рассчитайте поверхностное натяжение ртути на границе с раствором при 298К и концентрации ПАВ в растворе 0,1 моль/л. Предельное значение площади, занимаемой молекулой ПАВ на поверхности, $s_0 = 0,20$ [нм]², поверхностное натяжение ртути на границе с водой равно 0,373 Дж/м².

Задача 3. Рассчитайте изостерическую теплоту адсорбции этана на поверхности графитированной сажи (при степени заполнения $\theta = 1$) по следующим данным:

p , Па 251,2 89,9 31,1 12,6

T , К 200 182 166 154

Задача 4. Ниже приведены значения поверхностного давления π валериановой кислоты при 292 К при различной площади поверхности, приходящейся на 1 моль кислоты:

$\pi \cdot [10]^2$, Н/м

0,35 0,53 0,78 1,10 1,49 1,92 2,36 2,85 3,36

$s_M \cdot [10]^{-5}$, м²/моль

6,92 4,66 3,49 2,77 2,44 2,27 2,11 2,03 1,89

Известно, что поверхностное давление раствора валериановой кислоты с концентрацией раствора 4 ммоль/л равно 0,002 Н/м. Рассчитайте константы уравнения Шишковского.

Задача 5. Полистирольный сульфокатионит в H^{+} - форме в количестве $m = 1$ г внесли в раствор KCl с исходной концентрацией $c_0 = 100$ экв/м³ объемом $V = 50$ мл и смесь выдержали до равновесного состояния. Рассчитайте равновесную концентрацию калия в ионите, если константа ионообменного равновесия $K_{(K^{+}/(H^{+}))} = 2,5$, а полная обменная емкость катионита ПОЕ = 5 экв/кг.

Задача 6. Опишите кинетику реакции специфического кислотного катализа в разбавленном водном растворе, используя квазиравновесное приближение. Выразите скорость образования продукта через:

а) текущую,

б) исходную концентрацию субстрата.

Коэффициенты активности принять равными единице.

Задача 7. Напишите уравнение Михаэлиса-Ментен и покажите, а) при каких условиях оно описывает уравнение скорости для реакции 1-го порядка, а при каких – для нулевого? Б)

Покажите, что $K_M = [S]$ при $w = 1/2 w_{max}$

Задача 8. Найдите константу Михаэлиса и максимальную скорость гидролиза

аденозинтрифосфата, катализируемого миозином, по следующим кинетическим данным:

Рисунок 2

Ответ: $K_M = 2.1 \cdot 10^{-6} / 14.6 \cdot 10^{-3} = 1.44 \cdot 10^{-4}$ моль-л-1.

Задача 9. Ферментативная реакция ($K_M = 2.7 \cdot 10^{-3}$ моль-л-1) подавляется конкурентным ингибитором ($K_I = 3.1 \cdot 10^{-5}$ моль-л-1). Концентрация субстрата равна $3.6 \cdot 10^{-4}$ моль-л-1. Сколько ингибитора понадобится для подавления реакции на 65%? Во сколько раз надо повысить концентрацию субстрата, чтобы уменьшить степень подавления до 25%?

Задача 10. Простейшая схема активации ферментативной реакции описывается уравнениями:

$$K_s = [E][S] / [ES],$$

$$K_A = [ES][A] / [ESA].$$

где А - активатор, $\beta > 1$, K_s - константа диссоциации комплекса фермент-субстрат, K_A - константа диссоциации комплекса фермент-субстрат-активатор.

Используя квазиравновесное приближение для комплексов ES и ESA, определите параметры уравнения Михаэлиса-Ментен. Во сколько раз эффективная максимальная скорость больше максимальной скорости ферментативной реакции без активатора?

Задача 11. Напишите кинетические уравнения для двухсубстратной реакции на поверхности катализатора. Рассмотрите два случая:

а) реакция протекает между двумя адсорбированными реагентами;

б) один из субстратов реагирует из газовой фазы.

Задача 12. Для обратимой экзотермической реакции $A \rightleftharpoons B$ в начальный момент времени концентрации веществ (моль·л⁻¹) равны: $[A] = 4$, $[B] = 0$. Константа равновесия равна 3. Рассчитайте равновесный состав смеси. На одном графике изобразите (качественно) зависимости концентраций веществ А и В от времени. На этом же графике покажите, как изменится вид этих зависимостей с увеличением температуры, если константа равновесия изменяется в 1.5 раза, 2 раза.

Задача 13. Для обратимой экзотермической реакции $A \rightleftharpoons B$, протекающей в газовой фазе, в начальный момент времени концентрации веществ (моль·л⁻¹) равны: $[A] = 2$, $[B] = 0$. Константа равновесия равна 4. Рассчитайте равновесный состав смеси. На одном графике изобразите (качественно) зависимости концентраций веществ А и В от времени. На этом же графике покажите, как изменится вид этих зависимостей с уменьшением температуры, если константа равновесия изменяется в 4 раза.

Задача 14. Для обратимой эндотермической реакции $A \rightleftharpoons B$ в начальный момент времени концентрации веществ (моль·л⁻¹) равны: $[A] = 6$, $[B] = 0$. Константа равновесия равна 1.5. Рассчитайте равновесный состав смеси. На одном графике изобразите (качественно) зависимости концентраций веществ А и В от времени. На этом же графике покажите, как изменится вид этих зависимостей с уменьшением температуры, если константа равновесия изменяется в 2 раза.

Задача 15. Для параллельных реакций:

где k_1 и k_2 – константы скорости элементарных стадий, изобразите кинетические кривые для веществ А, В и D, если в начальный момент времени концентрация А равна 8 моль·л⁻¹, а В и D отсутствуют при следующих значениях констант скоростей: а) $k_1 = 5$ с⁻¹, $k_2 = 3$ с⁻¹; б) $k_1 = 1$ с⁻¹, $k_2 = 7$ с⁻¹.

5.1.2 Методические указания для обучающихся по лабораторным работам:

Работа № 1. Определение константы скорости инверсии тростникового сахара

Порядок выполнения работы

Предварительно определите нулевое положение измерительной системы. Для этого

чистую поляриметрическую трубку заполните дистиллированной водой, так, чтобы на верхнем ее конце появился выпуклый мениск. Мениск следует сдвинуть в сторону с помощью покровного стекла, затем на покровное стекло наложить резиновую прокладку и закрыть конец трубки путем вращения кольца. Покровные стекла с наружной стороны должны быть тщательно вытерты насухо. Желательно, чтобы в кювете не было воздушных пузырей, если же они образовались, то наклоняя трубку, нужно завести пузыри воздуха утолщенную часть кюветы, чтобы они не находились на пути прохождения луча.

Приготовьте раствор сахара заданной концентрации. Для этого навеску сахара растворите в мерной колбе на 100 мл и долейте водой до метки. Раствор должен быть прозрачным, если раствор мутный, его нужно отфильтровать. Затем приготовьте 25 мл 1н раствора HCl, смешайте равные количества растворов сахара и кислоты (по 25 мл) и тщательно перемешайте. Момент смешения следует считать началом реакции (включить секундомер).

Быстро заполните полученной смесью трубку, предварительно сполоснув ее дважды этим же раствором. Первый замер угла вращения сделать как можно быстрее, примерно на второй или третьей минуте от начала реакции. Последующие замеры провести через 3 мин, одно-два измерения через 5 мин, затем через 10 мин. Всего следует сделать не менее 10-12 определений величины α , соответствующих времени t от начала реакции. Весь опыт проводится в течение 2-х часов, поляриметрическая трубка при этом из прибора не вынимается.

Реакция инверсии сахара заканчивается при комнатной температуре приблизительно через 1,5-2 суток. Для ускорения реакции и определения угла вращения α , соответствующего концу реакции, поступают следующим образом: оставшуюся после заполнения поляриметрической трубки смесь перелить в круглодонную колбочку с обратным холодильником и поместить в водяную баню, нагретую до 60-70 С. Нагревание проводить параллельно с основными измерениями в течение 30-40 мин. После охлаждения смесь перелить в освободившуюся после основных измерений трубку и измерить угол вращения α . После всех измерений поляриметрическую трубку тщательно вымыть и высушить.

Результаты наблюдений свести в таблицу по образцу:

Температура опыта.....

Концентрация HCl.....

№ Время от начала опыта, мин.

Измеренный угол вращения

Угол вращения с поправкой

ксред

По результатам опыта вычислить константу скорости реакции для каждого момента времени, кроме $t = 0$ и $t = \infty$, по формуле (1), подставив вместо концентрации пропорциональные им разности соответствующих углов вращения:

$$(1)$$

Помните, что величины α вносят в расчетную формулу с соответствующими знаками и после внесения поправок на нулевое положение прибора.

Угол α_0 , соответствующий моменту начала реакции, практически определить не удастся, так как от начала реакции до первого измерения проходит некоторое время, поэтому определяется экстраполяцией. Для этого необходимо построить график в координатах α и t

экстраполяцией полученной линии на ось ординат ($t = 0$) определить k , а затем рассчитать величину k_0 .

После вычисления констант скорости реакции для каждого момента времени t , рассчитать среднюю константу скорости $k_{\text{сред}}$ реакции инверсии сахара.

Работа № 2. Определение константы скорости и энергии активации реакции йодирования ацетона

Цель работы: изучить кинетику реакции и определить константу скорости, энергию активации и температурный коэффициент скорости реакции.

Реакция йодирования ацетона протекает в соответствии с уравнением:

автокаталитически, т.е. ускоряется одним из продуктов реакции – ионами водорода. В нейтральном разбавленном водном растворе процесс идет очень медленно. Реакция йодирования ацетона протекает в две стадии:

Кето–енольное равновесие для ацетона

2. Взаимодействие иода с енольной формой:

Первая реакция протекает медленно, вторая – быстро и практически до конца. Поэтому процесс лимитируется самой медленной стадией – енолизацией ацетона, скорость пропорциональна концентрации ионов водорода, но не зависит от концентрации иода:

$v = k_0 [H^+]$
и для константы реакции:

$k_0 = k_1 \frac{[a]_0}{[a]_0 + [H^+]_0} = k_1 \frac{[a]_0}{[a]_0 + k_2 [I]_0}$
где $[a]_0$ – начальная концентрация ацетона, $[H^+]_0$ – начальная концентрация ионов водорода, $[a]$ – концентрация ацетона, подвергшегося превращению за время t (убыль концентрации), t_0 – время от начала реакции до данного измерения. Константа скорости второго порядка имеет размерность – [время⁻¹*концентрация⁻¹].

Порядок выполнения работы

Установить термостат на нужную температуру (40-60°C). В 250 мл мерную колбу налить 25 мл 0,1н раствора йода в 4%-ном растворе KI, добавить 25 мл 1н HCl (количество кислоты может быть изменено по указанию преподавателя) и долить водой до объема ниже метки примерно на 30-35 мл. Колбу с полученным раствором и вторую колбу с дистиллированной водой поставить в термостат.

Спустя 15-20 минут в колбу с реакционной смесью добавить примерно 1,5 г ацетона (навеску ацетона приготовить заранее на аналитических весах в закрытом сосуде) или влить 25 мл 1н водного раствора ацетона. Момент введения принять за начало реакции (включить секундомер), объем раствора в колбе быстро довести до метки дистиллированной водой, быстро перемешать и как можно быстрее отобрать пипеткой 25 мл пробы. Отобранную пробу влить в колбу для титрования, содержащую 25 мл 0,1н раствора $Na_2S_2O_3$ и заметить время отбора пробы. Затем определить содержание йода титрованием 0,01н раствором $Na_2S_2O_3$ в присутствии крахмала. Во избежание испарения ацетона колбу с реакционной смесью закрыть пробкой.

Вторую пробу отобрать через 10 минут после первой, затем промежутки между отборами проб увеличивать. Расход тиосульфата на каждую последующую пробу должен уменьшаться на 1-3 мл. Необходимо помнить, что чем выше температура опыта и чем больше содержание кислоты в реакционной смеси, тем чаще следует отбирать пробы. В течение опыта рекомендуется взять не менее 7-8 проб. Желательно даже во время отбора проб колбу из термостата не вынимать.

Результат измерений внести в таблицу по образцу:

№ Время от начала реакции, мин. Количество 0,01н $Na_2S_2O_3$, мл

,

г-экв/л ,
г-экв/л ,
г-экв/лк

Концентрация ацетона определяется по уравнению:

$$(1)$$

где V_0 – количество 0,01н , израсходованное на титрование пробы в данный момент времени, мл; V_t – количество 0,01н , которое должно было быть израсходовано на титрование в момент начала реакции, мл; N_k – нормальность раствора.

Так как от начала реакции до момента взятия пробы проходит некоторое время и значение V_t точно определить экспериментально не удастся, то V_t определяется графически. Построить график в координатах V_t и экстраполицией на ось ординат ($t=0$) определить V_0 .

Используя уравнение (1) и вычисленные значения V_0 , V_t и t , рассчитать константы скорости k . Определить среднюю константу $k_{набл}$. Взяв величину $k_{набл}$ при другой температуре из справочника, определить температурный коэффициент реакции. Для расчета энергии активации воспользуйтесь формулой (2).

где k_1 и k_2 – константы скорости реакции при температуре T_1 и T_2 соответственно; R – газовая постоянная

Работа №3. Изучение скорости реакции омыления сложного эфира и определение энергии активации

Цель работы: определить константу скорости реакции омыления уксусноэтилового эфира едким натром при двух температурах и рассчитать энергию активации.

Реакция омыления уксусноэтилового эфира едким натром в водном растворе:



протекает при небольшом избытке щелочи по второму порядку.

Для вычисления константы скорости практически необратимой реакции второго порядка используется формула (1)

$$k = 1/(t(a-b)) \ln (b(a-x)/(a(b-x))) \quad (1)$$

Необходимые для вычислений концентрации реагентов определяют посредством титрования одинаковых проб (10 мл) реакционной смеси раствором соляной кислоты с точно установленной концентрацией N_k . Пробы отбирают в различные моменты времени от начала реакции.

Обозначим через V_0 , V_t , V_∞ , соответственно, объемы кислоты в мл, идущие на нейтрализацию щелочи в пробе до начала реакции, в момент времени t и по окончании реакции. Тогда $a = V_0 N_k$ исходное число молей щелочи в пробе. Так как на омыление 1 моля эфира расходуется 1 моль щелочи, то величина $b = (V_0 - V_\infty) * N_k$ исходное число молей эфира в пробе. Количество прореагировавшей щелочи или эфира к данному моменту времени $x = (V_0 - V_t) * N_k$. И, таким образом, $(a - x) = V_t * N_k$ есть число молей щелочи в пробе в момент времени t , и, соответственно, $(b - x) = (V_t - V_\infty) * N_k$ – число молей эфира в тот же момент времени. Количество не прореагировавшей (избыточной) щелочи в конце реакции – $(a - b) = V_\infty * N_k$. Подставив полученные значения в уравнение (1) и приняв во внимание объем пробы, взятой для титрования (10 мл), получим:

$$k = 10/(V_\infty * N_k * t) \ln (V_t (V_0 - V_\infty)/(V_0 (V_t - V_\infty))) \quad (2)$$

Определяют константу скорости реакции омыления эфира при двух температурах, соответственно T_1 и T_2 . Зная эти константы, не трудно рассчитать энергию активации реакции по уравнению:

$$(3)$$

где k и k_0 – константы скорости реакции при температуре T и соответственно; R – газовая постоянная, равная $8,314 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{град}^{-1}$.

Выполнение работы

В мерную колбу на 250 мл налить пипеткой 5 мл этилацетата и разбавить дистиллированной водой до метки. В другую колбу (не мерную) налить пипеткой 50 мл раствора NaOH щелочи. Обе колбы закрыть пробками и выдержать некоторое время при заданной температуре в термостате. После этого в колбу со щелочью налить раствор эфира и тщательно перемешать. Момент сливания растворов является началом реакции. Из реакционной смеси быстро отобрать пробу 10 мл и внести ее в колбу для титрования с охлажденной до 0°C водой (ответить, для чего используют при титровании охлажденную воду). Титровать $0,01 \text{ н}$ раствором HCl с фенолфталеином до исчезновения розового окрашивания. Объем кислоты, пошедший на титрование, записывать. Поскольку по мере хода реакции скорость ее убывает, последующие пробы отбирать через 5, 15, 30, 50, 75 и 105 минут от начала опыта. Реакционная смесь содержит щелочь, поэтому она должна быть закрыта пробкой, колбу открывают только на время отбора пробы.

Реакция омыления эфира заканчивается примерно через сутки. Для ускорения реакции и определения величины k отдельную порцию раствора нагреть на водяной бане ($70\text{--}80^\circ\text{C}$) в течение 30 минут (нагревание проводят параллельно с основным опытом). Нагревание должно проводиться в колбе с обратным холодильником и хлоркальциевой трубкой.

После охлаждения до комнатной температуры пробу объемом 10 мл оттитровать раствором HCl .

Константы скорости для каждого момента времени, кроме $t = 0$, вычисляют по формуле (1) и затем находят среднее значение:

$$(1)$$

Здесь t - время от начала реакции, мин; b_∞ - объем NaOH , пошедший на титрование последней пробы, мл; b_1 - объем NaOH , пошедший на титрование первой пробы, мл; b_t - объем NaOH , пошедший на титрование пробы, взятой в момент времени t .

Результат измерений записать в таблицу по образцу:

Температура опыта.....

№ Время от начала реакции t , мин. Объем кислоты, мл

$k_{\text{сред}}$

Среднее значение константы скорости может быть найдено графически. Для этого преобразуем уравнение (1) следующим образом:

$$(2)$$

Нанеся экспериментальные точки на график в координатах время t (ось абсцисс) – $\ln(b_\infty - b_t)$ (ось ординат), получаем прямую, не проходящую через начало координат (рис. 1).

Тангенс угла наклона прямой к оси времени численно равен константе скорости реакции.

$$(3)$$

Обратите внимание, что тангенс угла β рассчитывают как отношение длины противолежащего катета $[BC]$ к длине прилежащего $[BA]$ в прямоугольном треугольнике ABC .

Длины катетов берутся в единицах масштаба осей координат.

Определив константы скорости реакции при двух температурах, по формулам (4) и (5) рассчитывают температурный коэффициент скорости химической реакции γ и энергию активации:

(4)

, Дж/моль

(5)

$E_a(\text{лит}) = 11,2 \text{ ккал/моль}$ или $46,9 \text{ кДж/моль}$

Работа № 4. Изучение кинетики разложения комплексного иона триоксалата марганца фотометрическим методом

4.1.1 Цель работы

1. Определить константу скорости реакции методом подстановки и графическим методом, построив график .

2. Определить период полураспада комплексного иона $[\text{Mn}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-}$ через константу скорости реакции и по графику

4.1.2. Основные теоретические положения

Фотометрический метод измерения применяют для исследования скорости химических реакций в тех случаях, когда исходное вещество окрашено иначе, чем смесь продуктов реакции. Метод удобен тем, что имеется возможность проведения анализа непосредственно в растворе без отбора проб.

В настоящей работе исследуется кинетика распада комплексного иона Mn^{+3} , окрашенного в коричневый цвет, который при взаимодействии с щавелевой кислотой образует бесцветный ион состава $[\text{Mn}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-}$.

Распад комплексного иона происходит под действием света и протекает по уравнению: $[\text{Mn}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-} \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 2,5\text{C}_2\text{O}_4^{2-} + \text{CO}_2$.

Хотя механизм реакции сложен, зависимость ее скорости от времени подчиняется кинетическому уравнению реакции первого порядка, поэтому константу скорости k при данной температуре рассчитывают по кинетическому уравнению реакции первого порядка:

или (1)

где a – начальная концентрация исходного вещества; x – количество исходного вещества, израсходованного к моменту времени t ; $(a-x)$ – текущая концентрация реагирующего вещества.

Концентрацию определяют по изменению оптической плотности во времени.

Согласно закону Бугера-Ламберта-Бера:

$$I = I_0 e^{-\epsilon c l} \quad (2),$$

где I_0 и I – начальная интенсивность потока электромагнитного излучения и интенсивность потока после прохождения через слой раствора;

C – молярная концентрация вещества в растворе;

ϵ – молярный коэффициент поглощения;

l – толщина слоя раствора.

Преобразуем уравнение (2): $I/I_0 = e^{-\epsilon c l}$.

После логарифмирования имеем:

$$\ln \frac{I}{I_0} = -\epsilon C l \text{ или}$$

$$\ln 2,303 = \epsilon C l. \text{ Отсюда } \ln 2 = \epsilon' c \cdot l.$$

D называют оптической плотностью раствора.

$D = \epsilon' c l$, т.е. оптическая плотность раствора пропорциональна его концентрации.

Следовательно, отношение концентраций под знаком логарифма в кинетическом уравнении реакции первого порядка (1) можно заменить отношением оптических плотностей:

где D_0 и D_t – оптическая плотность раствора в начальный момент и в момент времени t , соответственно. Заменяя в уравнении (1) концентрации значениями D_0 и D_t , получим уравнение в виде:

$$k \tau = \ln \frac{D_0}{D_t}$$

Если построить график зависимости D_t , то это будет прямая линия, выходящая из начала координат, тангенс угла наклона которой равен константе скорости реакции k .

4.1.3 Требования техники безопасности

При выполнении данной лабораторной работы необходимо соблюдать общие правила работы в химической лаборатории.

4.1.4 Экспериментальная часть

Фотометр готовят к работе, устанавливают длину волны электромагнитного излучения $\lambda = 440$ нм.

Пипеткой отмеряют 1 мл раствора $MnSO_4$ и 7 мл раствора щавелевой кислоты $H_2C_2O_4$ (соотношение 1:7). Растворы смешивают в стаканчике, затем в кювету фотометра длиной 1 см отмеряют 4 мл смеси (смесь бесцветная). При добавлении к смеси 1 мл перманганата калия образуется коричневая комплексная соль $K_3[Mn(C_2O_4)_3]$.

Кювету с раствором комплексной соли как можно быстрее помещают в фотометр. В качестве раствора сравнения используют дистиллированную воду. Включают секундомер, этот момент принимают за начало опыта и проводят первое измерение. Оптическую плотность раствора измеряют через 1 минуту – первые пять минут, затем интервал можно увеличить, проводить измерения через 2 и 4 минуты. Измерения заканчивают, когда оптическая плотность раствора снизится до 0,1. Результаты измерений оформляют в виде таблицы 2.

Таблица 3.1.1 – Экспериментальные результаты

№

п/п Время

от начала

опыта, мин. Оптическая

плотность

раствора D_t

k ,

мин⁻¹

1

2

3

По результатам эксперимента вычисляют среднее значение константы скорости реакции.

Период полураспада комплексного иона вычисляют по уравнению:

$$\tau_{1/2} = \frac{1}{k},$$

используя среднее значение константы скорости реакции.

По результатам измерений строят графики $D_t = f(\tau)$ (рис.3.1.1) и $\ln(D_0/D_t) = f(\tau)$ (рис.3.1.2).

Зависимость $D_t = f(\tau)$ (рис. 3.1.1) является экспоненциальной, также как и зависимость $St = f(\tau)$. Отложив на оси ординат величину $D_0/2$, проведя горизонталь до пересечения с линией графика и опустив перпендикуляр на ось времени, можно определить период полураспада комплексного иона $\tau_{1/2}$ оцен.

Второй график (рис. 1.1.2) выходит из начала координат. Тангенс угла наклона этой прямой $tg\alpha$ равен константе скорости реакции ($tg\alpha = k_{\text{граф}}$). Исходя из значения константы скорости реакции, найденного графическим методом рассчитывают период полупревращения пероксида водорода $\tau_{1/2\text{граф}}$.

$$\tau_{1/2\text{граф}} = \frac{1}{k_{\text{граф}}},$$

Сравнивают результаты определения константы скорости реакции разложения $[Mn(C_2O_4)_3]^{3-}$ и его периода полупревращения, полученные различными методами – аналитическим, графическим и оценочным.

Рис. 3.1.1 – Зависимость $D_t = f(\tau)$

Рис. 3.1.2 – Зависимость $\ln(D_0/D_t) = f(\tau)$

4.1.5 Требования к содержанию отчета

Отчет о работе должен содержать:

цель работы;

краткое описание хода работы;

все экспериментальные данные (таблицы результатов), расчеты константы

скорости реакции;

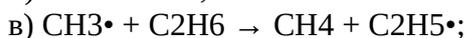
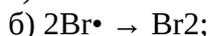
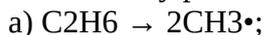
исследуемые графические зависимости: $D\tau = f(\tau)$ и ;

результаты определения периода полураспада комплексного иона через константы скорости реакции k и $k_{\text{граф}}$ и по графику $D\tau = f(\tau)$ $\tau_{1/2}$ оцен;

выводы.

4.1.6 Вопросы и задания для самоконтроля

Чему равен общий порядок элементарных реакций:



В чем состоит различие между молекулярностью и порядком реакции?

В некоторый момент времени скорость сгорания пентана в избытке кислорода равна $0,50 \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$. Чему равны скорости образования CO_2 и водяного пара, а также скорость расходования кислорода в этот момент?

Кинетическое уравнение реакции первого порядка в логарифмической и экспоненциальной форме. Каковы особенности кинетического уравнения реакции первого порядка?

5.1.3 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:

Самостоятельная работа является неотъемлемым элементом учебного процесса, одним из основных методов освоения учебных дисциплин и овладения навыками профессиональной и научно-исследовательской деятельности. При самостоятельной работе достигается углубленное усвоение учебного материала, развиваются теоретические способности, столь важные для современной подготовки бакалавра.

Целью самостоятельной работы студентов является внеаудиторное изучение студентами терминов, понятий и основного содержания кинетики химических реакций.

Для достижения цели дисциплины в рамках самостоятельной работы решаются следующие задачи - формирование представлений об основах кинетики сложных реакций, понятия о скоростях и порядках реакций, энергии активации реакции.

Самостоятельная работа включает себя изучение лекционного материала с привлечением учебных пособий, самостоятельное изучение некоторых разделов, подготовку к контрольным и лабораторным работам, подготовку курсовой работы (Раздел 4.5).

5.1.3.1 Вид СРС «Подготовка к практическим занятиям» имеет целью закрепление знаний о фундаментальных законах природы, которые находят практическое применение в различных отраслях науки и техники, развитие навыков по логическому осмыслению и изложению полученных знаний, путем подготовки к коллоквиумам и решения домашних заданий по разделам дисциплины. Подготовка к практическим занятиям заключается в самостоятельном решении задач по темам и в работе с учебниками и дополнительной литературой. При работе с литературой следует вести запись основных положений (конспектировать отдельные разделы, выписывать новые термины и раскрывать их содержание)

5.1.3.2 Проработка отдельных разделов теоретического курса заключается в изучении теоретического материала с применением

- собственных конспектов лекций
- основных источников теоретической информации по дисциплине

6 Фонд оценочных средств для контроля текущей успеваемости и проведения промежуточной аттестации по дисциплине

6.1 Оценочные средства для проведения текущего контроля

6.1.1 семестр 3 | Устный опрос

Описание процедуры.

Отчет по лабораторной работе должен быть сдан преподавателю на следующем лабораторном занятии в письменном виде.

Критерии оценивания.

- 5 баллов выставляется студенту, если его ответ по лабораторной работе полностью раскрывает содержание вопросов и содержит все необходимые расчеты и выводы;
- 4 баллов выставляется студенту, если его ответ по лабораторной работе на 80% раскрывает содержание вопросов;
- 3 баллов выставляется студенту, если его ответ по лабораторной работе на 60% раскрывает содержание вопросов;
- 2 баллов» выставляется студенту, если его ответ по лабораторной работе на 40% раскрывает содержание вопросов.

6.1.2 семестр 3 | Контрольная работа

Описание процедуры.

Студентам выдается комплект контрольных заданий по вариантам

Критерии оценивания.

Контрольная работа оценивается по 4-балльной шкале: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»
 отлично: уровень выполнения требований значительно выше среднего: отсутствие ошибок, не более одного недочёта; логичность и полнота изложения
 хорошо: уровень выполнения требований выше среднего: полнота и логичность в решении задач; незначительные нарушения логики в решениях; отдельные неточности
 удовлетворительно: достаточный уровень выполнения требований; отдельные нарушения логики в решении задач; неполнота раскрытия вопроса, допущены более 2 ошибок или более 3-х недочетов
 неудовлетворительно: Допущены существенные ошибки, указывающие на отсутствие знаний в данной области

6.2 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

6.2.1 Критерии и средства (методы) оценивания индикаторов достижения компетенции в рамках промежуточной аттестации

Индикатор достижения компетенции	Критерии оценивания	Средства (методы)
----------------------------------	---------------------	-------------------

		оценивания промежуточной аттестации
ОПК ОС-4.1	Демонстрирует способность определять скорость химического процесса по экспериментальным данным; знаком со способами решения прямой и обратной задачи химической кинетики; способен обработать и представить полученные данные с применением современных компьютерных и информационных технологий.	Устное собеседование по теоретическим вопросам и выполнение практических заданий.

6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

6.2.2.1 Семестр 3, Типовые оценочные средства для проведения экзамена по дисциплине

6.2.2.1.1 Описание процедуры

Предусмотрено устное собеседование со студентом, ответы на вопросы билета
При выставлении оценки экзаменатор учитывает:

- знание фактического материала по программе;
- степень активности студента на семинарских занятиях;
- логику, структуру, стиль ответа; культуру речи, манеру общения; готовность к дискуссии, аргументированность ответа; уровень самостоятельного мышления; умение приложить теорию к практике, решить задачи;
- наличие пропусков семинарских и лекционных занятий по неуважительным причинам.

Пример задания:

1. Обратимая реакция первого порядка и определение ее кинетических параметров. Скорость реакции и химическое сродство
2. Основные понятия и методы формальной кинетики.

6.2.2.1.2 Критерии оценивания

Отлично	Хорошо	Удовлетворительн о	Неудовлетворительно
Студент: - глубоко изучил учебный материал; - последовательно и исчерпывающе ответил на три вопроса;	Студент: - твердо знает учебный материал; - ответил на два вопроса, при этом не допустив серьезных	Студент: - знает лишь основной материал; - исчерпывающе ответил на один вопрос, на остальные вопросы отвечал	Студент: - имеет отдельные представления об изученном материале; - не смог полно и правильно ответить ни на один из вопросов; - при ответах допускал

<p>- при ответах применил знания, полученные в ходе лабораторных, практических занятий и самостоятельного изучения отдельных разделов курса; - не испытывал затруднений при ответах на дополнительные вопросы (при их наличии).</p>	<p>ошибок; - при ответах применил знания, полученные в ходе лабораторных и практических занятий; - не испытывал затруднений при ответах на дополнительные вопросы (при их наличии).</p>	<p>недостаточно четко и полно; - при ответах применил знания, полученные только в процессе лекционных занятий; - испытывал затруднения при ответах на дополнительные вопросы (при их наличии)</p>	<p>грубые ошибки; - испытывал затруднения при ответах на дополнительные вопросы (при их наличии).</p>
---	---	---	---

7 Основная учебная литература

1. Стромберг А. Г. Физическая химия : учеб. для вузов по хим. специальностям / А. Г. Стромберг, Д. П. Семченко, 2006. - 526.
2. Процессы и аппараты химической технологии: Явления переноса, макрокинетика, подобие, моделирование, проектирование: [В 5т.]. Т. 2. Механические и гидромеханические процессы/Под ред. А. М. Кутепова / [Д. А. Баранов, В. Н. Блиничев, А. В. Вязьмин и др.], 2002. - 599.
3. Ипполитов Е. Г. Физическая химия : учеб. для вузов по специальности 032300 "Химия" / Е. Г. Ипполитов, А. В. Артемов, В. В. Батраков, 2005. - 447.
4. Коробов В. И. Химическая кинетика: введение в Mathcad/Maple/MCS / В. И. Коробов, В. Ф. Очков, 2009. - 384.
5. Киселева Е. В. Сборник примеров и задач по физической химии : для высш. и сред. спец. образования хим.-технол. вузов / Е. В. Киселева, Г. С. Каретников, И. В. Кудряшов; под ред. И. В. Кудряшова, 2008. - 452.

8 Дополнительная учебная литература и справочная

1. Чоркендорф И. Современный катализ и химическая кинетика : учебное пособие : пер. с англ. / И. Чоркендорф, Х. Наймантсведрайт, 2013. - 500.
2. Байрамов В. М. Основы химической кинетики и катализа : учеб. пособие для хим. фак. ун-тов по специальности 011000 "Химия" и направлению 510500 "Химия" / В. М. Байрамов, 2003. - 251, [1].
3. Денисов Е. Т. Химическая кинетика : учеб. для вузов по направлению и специальности "Химия" / Е. Т. Денисов, О. М. Саркисов, Г. И. Лихтенштейн, 2000. - 565.
4. Физическая химия. Химическая кинетика : методические указания по выполнению лабораторных работ / Иркут. гос. техн. ун-т, 2008. - 55.

5. Семиохин Иван Александрович. Кинетика химических реакций : учеб. пособие для вузов по направлению и специальности "Химия" / И. А. Семиохин, Б. В. Страхов, А. И. Осипов, 1995. - 346.

6. Физическая химия : [Учеб. для вузов]: В 2кн. Кн. 2. Электрохимия. Химическая кинетика и катализ / К. С. Краснов, Н. К. Воробьев, И. Н. Годнев, В. Н. Васильева, 2001. - 318.

9 Ресурсы сети Интернет

1. <http://library.istu.edu/>
2. <https://e.lanbook.com/>

10 Профессиональные базы данных

1. <http://new.fips.ru/>
2. <http://www1.fips.ru/>

11 Перечень информационных технологий, лицензионных и свободно распространяемых специализированных программных средств, информационных справочных систем

1. Microsoft Windows Seven Professional (Microsoft Windows Seven Starter) - Seven, Vista, XP_prof_64, XP_prof_32 - поставка 2010
2. Microsoft Office 2007 Standard - 2003 Suites и 2007 Suites - поставка 2010

12 Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Компьютер "i5-4440(3.1)/4Gb/500Gb/VGA/23""
2. Компьютер "i5-4440(3.1)/4Gb/500Gb/VGA/23""
3. Компьютер "i5-4440(3.1)/4Gb/500Gb/VGA/23""
4. Компьютер "i5-4440(3.1)/4Gb/500Gb/VGA/23""
5. Компьютер "i5-4440(3.1)/4Gb/500Gb/VGA/23""
6. МПБ-3 микроскоп измерительный
7. МПБ-3 микроскоп измерительный
8. Привод лаб. ПЭ-0270
9. Привод лаб. ПЭ-0270
10. Фотоколориметр КФК-3-КМ
11. Кондуктометр "Эксперт-002" (датчик лабораторный)
12. Поляриметр круговой СМ-3

13. Ионномер АНИОН-4154 (410А)
14. Фотоколориметр КФК-3-КМ
15. Конденсор темного поля КОН-7Т
16. Рефрактометр ИРФ-454 Б2М
17. Моделирование зрительной трубы и микроскопа ФПВ-05-1-10
18. Датчик кондуктометрический погружного типа для лаб.измерения УЭП-П-С
19. Калориметр Эксперт-001К-2--2шт
20. Калориметр Эксперт-001К-2
21. Сушильный шкаф СНОЛЗ,5 И2М
22. Микмед 6
23. Дистиллятор ДЭ-25
24. Весы лабораторные ВК-1500
25. микроскоп биологический Микмед-5
26. термостат жидкостный ЛАБ-ТС-01/12
27. ионномер-рН метр микропроцессорный И-500
28. ионномер-рН метр микропроцессорный И-500
29. стол для весов ЛАБ-1200
30. стол для весов ЛАБ-1200
31. Мешалка магнитная с нагревом ИКА
32. Мешалка магнитная с нагревом ИКА
33. Весы аналитические "LEKI B1604"
34. Спектрофотометр однолучевой сканирующий "UNICO UV-2800"
35. Штатив лабораторный универсальный
36. Штатив лабораторный универсальный
37. Штатив лабораторный универсальный
38. Штатив лабораторный универсальный
39. Штатив лабораторный универсальный
40. Штатив лабораторный универсальный

41. Калориметр сканирующий дифференц-ый DSC 204 F1 Phoenix