

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
электроники, фотоники и
молекулярной физики
А.С. Батурин**

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Физико-химические методы исследований и испытаний материалов и устройств
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра электрохимической энергетики
курс:	2
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составили:

С.М. Морозова, канд. хим. наук

В.А. Визгалов, канд. хим. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры электрохимической энергетики 19.12.2024

Аннотация

Освоение дисциплины «Физико-химические методы исследований и испытаний материалов и устройств» направлено на развитие профильных компетенций и представлений об основных физико-химических методах анализа, диагностики и испытаний ХИТ посредством углубления и систематизации знаний о классификации методов, устройстве и назначении используемых инструментов и оборудования и о принципах выбора методик проведения испытаний и анализа.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Формирование у обучающихся специализированных представлений о физико-химических методах исследований свойств материалов, их классификации, особенностях планирования и проведения испытаний устройств.

Задачи дисциплины

Основными задачами изучения дисциплины являются:

- формирование базовых знаний о физико-химических принципах, на которых основаны современные методы инструментальной диагностики материалов и устройств;
- формирование навыка подбора необходимой инструментальной методики анализа в зависимости от интересующего результата и типа анализируемого образца;
- овладение базовыми навыками интерпретации результатов физико-химических исследований и испытаний, в том числе с использованием специализированной и периодической научной литературы.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- основные виды методов исследований и испытаний материалов и устройств, в особенности относящихся к химическим источникам тока (ХИТ);
- устройство и принцип работы основных приборов и инструментов для проведения анализа;
- принципы выбора методик проведения физико-химических исследований и испытаний.

уметь:

- объяснять физико-химические принципы работы основных приборов и инструментов для проведения анализа;
- проводить пробоподготовку образцов (в частности, являющимися ХИТ или их компонентами) для проведения инструментального анализа;
- анализировать результаты физико-химических исследований и испытаний;
- анализировать научную литературу с целью выбора информации о применении того или иного метода к анализу конкретного объекта и интерпретации собственных экспериментальных данных.

владеть:

- основными принципами, лежащими в основе физико-химических методов исследования и испытания ХИТ (как на уровне устройства в сборе, так и отдельных материалов);
- навыками к подбору методики исследования/испытания в зависимости от типа объекта и интересующих характеристик;
- сведениями об основных требованиях к пробоподготовке образца для определенной методики/исследования и соответствующих ограничениях той или иной методики;
- навыками интерпретации результатов проведенного исследования, основываясь на современной литературе.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Введение в физико-химические методы анализа материалов. Общая классификация. Растровая и просвечивающая электронная микроскопия.	2			4
2	Колебательная спектроскопия.	2			4
3	Вторичная ионная масс-спектрометрия.	2			4
4	Резонансные методы анализа.	2			4
5	Хроматографические методы анализа.	2			4
6	Дифракционные методы.	2			4
7	Электронная и рентгеновская спектроскопия.	2			4
8	Использование синхротронного излучения для диагностики материалов. Нейтронные методы.	2			4
9	Атомно-силовая микроскопия. Зондовая микроскопия.	2			4
10	Методы определения механики материалов.	2			4
11	Реологические свойства материалов.	2			4
12	Термические и термомеханические методы исследования.	2			4

13	Потенциодинамические и гальваностатические методы. Спектроскопия электрохимического импеданса.	2			4
14	Методы электрохимического анализа на уровне аккумулятора в сборе.	2			4
15	Типы и классификация испытаний устройств. Климатические, вакуумные и термо-вакуумные испытания. Виброиспытания.	2			4
Итого часов		30			60
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 3 (Осенний)

1. Введение в физико-химические методы анализа материалов. Общая классификация. Растровая и просвечивающая электронная микроскопия.

Классификация физико-химических методов исследования: дифракционные, спектроскопические, термические и др., разрушающие и неразрушающие и др.. Принцип действия электронного микроскопа. Понятия контраст, разрешение и яркость. Энергодисперсионный анализ: принцип действия и примеры применения.

2. Колебательная спектроскопия.

Определение колебательной спектроскопии. Симметрия молекул и типы колебаний. ИК- и КР-спектроскопия: принцип действия и методики измерений.

3. Вторичная ионная масс-спектрометрия.

Основы метода масс-спектрометрии. Устройство масс-спектрометра. Методы ионизации.

4. Резонансные методы анализа.

Принцип работы ЯМР- и ЭПР-спектрометра. Понятие химического сдвига. Применимость методов и примеры применений.

5. Хроматографические методы анализа.

Классификация хроматографических методов по агрегатному состоянию фаз, механизму взаимодействия, способу хроматографирования и технике выполнения. Газовая хроматография, ВЭЖХ: принцип работы и применимость.

6. Дифракционные методы.

Понятие кристаллической решетки. Обратное пространство. Дифракция рентгеновского излучения. Источники рентгеновского излучения. Применимость РФА и РСА. Уравнение Брэгга-Вульфа.

7. Электронная и рентгеновская спектроскопия.

РФЭС-спектроскопия, оже-спектроскопия, рентгено-флуоресцентный анализ: принцип работы и примеры применений.

8. Использование синхротронного излучения для диагностики материалов. Нейтронные методы.

Особенности синхротронного излучения. Когерентность, мощность. Источники СИ в России и зарубежом. Примеры применения СИ для исследования материалов.

9. Атомно-силовая микроскопия. Зондовая микроскопия.

Принцип работы атомно-силового микроскопа. Туннельный ток. Режимы измерений (контактный, полуконтактный, бесконтактный). Зондовая микроскопия. Особенности пробоподготовки и применение.

10. Методы определения механики материалов.

Виды нагрузки (растяжение, сжатие(компрессия), кручение, изгиб, сдвиг). Модуль Юнга. Принцип работы разрывной машины. Компрессионный тест. Измеряемые величины, учет коэффициента Пуассона при измерениях.

11. Реологические свойства материалов.

Определение реологии. Устройство осцилляционного реометра. Вязкость динамическая, кинематическая и комплексная. Ньютоновские и неньютоновские жидкости. Тиксотропия и реопексия. Модуль накопления и модуль потерь. Пластическая и упругая деформация. Модели деформации тел. Релаксация материалов.

12. Термические и термомеханические методы исследования.

Методы термического, динамо-механического и термомеханического анализов: принцип работы, методики измерения, применимость методов.

13. Потенциодинамические и гальваностатические методы. Спектроскопия электрохимического импеданса.

Вольтамперометрия. Гальваностатическое циклирование. Зависимость удельных характеристик от плотности тока разряда. Двух и трехэлектродные ячейки. Потенциостатическое и гальваностатическое прерывистое титрование. Определение коэффициентов диффузии в интеркаляционных материалах. Спектроскопия электрохимического импеданса. Способы представления импеданса. Способы описания электрохимических цепей. Основные компоненты эквивалентных схем. Сопротивление. Емкость. Индуктивность. Диффузионный импеданс (элемент Варбурга). Элемент постоянной фазы. Некоторые структурные модели электрохимических систем. Особенности проведения эксперимента по регистрации импеданса.

14. Методы электрохимического анализа на уровне аккумулятора в сборе.

Методы электрохимического анализа на уровне аккумулятора в сборе. Степень заряда (state of charge) и степень сохранности емкости (state of health) аккумулятора, и способы их определения. Анализ прироста емкости (incremental capacity analysis). Анализ кривой производной ёмкости по напряжению (differential voltage analysis). Анализ пошагово измеренного напряжения разомкнутой цепи (incremental open-circuit voltage analysis).

15. Типы и классификация испытаний устройств. Климатические, вакуумные и термо-вакуумные испытания. Виброиспытания.

Типы и классификация испытаний устройств. Основные типы испытаний. Особенности проведения испытаний для устройств различного типа. Климатические, вакуумные и термо-вакуумные испытания. Цели проведения испытаний. Используемое оборудования. Особенности проведения испытания. Виброиспытания. Цели проведения испытаний. Используемое оборудования. Особенности проведения испытания.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, оснащенная мультимедиа проектором, меловой или маркерной доской.

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

Литература выдается на базовой кафедре:

1. Леган М.А. Захарченко К. В. Механические испытания материалов. - Издательство НГТУ, 2017. – 163с. – ISBN 978-5-7782-4896-0
2. Киреев, В.В. Высокомолекулярные соединения. Часть 1. - ООО «Издательство Юрайт» 2017. – 361с. - ISBN 978-5-9916-7150-7 (ч. 1)

Дополнительная литература

Литература выдается на базовой кафедре:

1. Linden's Handbook of Batteries / Edited by T.B.Reddy. - 4th Edition. - McGraw-Hill, 2010
2. Пентин Ю.А., Вилков Л.В. Физические методы исследования в химии. - М.: Мир, 2006. - 683с.
3. Брандон Д., Каплан У. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля. - Москва: Техносфера, 2004. – 384 с. - ISBN 5-94836-018-
4. Миронов В. Основы сканирующей зондовой микроскопии. - М.: Техносфера, 2009. - 144с.
5. Михайлин В. В. Синхротронное излучение в спектроскопии. - М.: МГУ, 2007. - 160с.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Не используются.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Не предусмотрены.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину, должен, с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
 - ведения конспекта занятий;
 - выполнение заданий практических семинаров и самостоятельную обработку полученных результатов;
 - активной самостоятельной работы студента.
- Самостоятельная работа включает в себя:
- чтение рекомендованной литературы;

- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра электрохимической энергетики
курс:	<u>2</u>
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Дифференцированный зачет

Разработчики:

С.М. Морозова, канд. хим. наук
В.А. Визгалов, канд. хим. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Физико-химические методы исследований и испытаний материалов и устройств» обучающийся должен:

знать:

- основные виды методов исследований и испытаний материалов и устройств, в особенности относящихся к химическим источникам тока (ХИТ);
- устройство и принцип работы основных приборов и инструментов для проведения анализа;
- принципы выбора методик проведения физико-химических исследований и испытаний.

уметь:

- объяснять физико-химические принципы работы основных приборов и инструментов для проведения анализа;
- проводить пробоподготовку образцов (в частности, являющимися ХИТ или их компонентами) для проведения инструментального анализа;
- анализировать результаты физико-химических исследований и испытаний;
- анализировать научную литературу с целью выбора информации о применении того или иного метода к анализу конкретного объекта и интерпретации собственных экспериментальных данных.

владеть:

- основными принципами, лежащими в основе физико-химических методов исследования и испытания ХИТ (как на уровне устройства в сборе, так и отдельных материалов);
- навыками к подбору методики исследования/испытания в зависимости от типа объекта и интересующих характеристик;
- сведениями об основных требованиях к пробоподготовке образца для определенной методики/исследования и соответствующих ограничениях той или иной методики;
- навыками интерпретации результатов проведенного исследования, основываясь на современной литературе.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

В начале каждого занятия проводится краткий опрос по теме предыдущего занятия.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к дифференцированному зачету:

1. Виды классификаций физико-химических методов исследования.
2. Принцип работы электронного микроскопа. Различие между растровой и просвечивающей микроскопией. Примеры применения.
3. Энергодисперсионный анализ для растровой электронной микроскопии: принцип работы и примеры применения.
4. ИК-спектроскопия: принцип действия, методики измерения, применимость.
5. КР-спектроскопия: принцип действия, методики измерения, применимость.
6. Масс-спектрометрия: принцип работы, виды ионизации.
7. Применимость масс-спектрометрии для различных типов образцов и сочетание с другими методами.
8. ЯМР-спектроскопия: принцип работы, методики измерений и применимость метода
9. ЭПР-спектроскопия: принцип работы, применимость метода.
10. Классификация хроматографических методов. Газовая хроматография: принцип работы и применения.
11. ВЭЖХ: принцип работы и применения.
12. Понятие кристаллической решетки. Обратное пространство.
13. Дифракция рентгеновского излучения. Источники рентгеновского излучения. Применимость РФА и РСА. Уравнение Брэгга-Вульфа.
14. РФЭС-спектроскопия: принцип работы и примеры применений.
15. Оже-спектроскопия: принцип работы и примеры применений.
16. Рентгено-флуоресцентный анализ: принцип работы и примеры применений.
17. Особенности синхротронного излучения. Источники СИ в России и зарубежом.
18. Примеры применения СИ для исследования материалов.
19. Принцип работы атомно-силового микроскопа. Режимы измерений.
20. Зондовая микроскопия. Особенности пробоподготовки и применение
21. Виды нагрузки. Модуль Юнга. Принцип работы разрывной машины.
22. Компрессионный тест. Измеряемые величины, учет коэффициента Пуассона при измерениях
23. Определение реологии. Устройство осцилляционного реометра. Вязкость динамическая, кинематическая и комплексная.
24. Модуль накопления и модуль потерь. Модели деформации тел. Релаксация материалов.
25. ТГА: принцип работы, применимость метода.
26. ДСК: принцип работы, методики измерения, применимость метода.
27. Динамо-механический анализ и термомеханический анализ. Принцип работы и применимость методов.
28. Основные электрохимические методы на постоянном токе: принципы реализации и получаемая информация.
29. Спектроскопия импеданса: суть метода эквивалентных схем, физико-химический смысл основных компонентов схем, примеры применения для исследования реальных материалов.
30. Подходы определения текущего состояния аккумулятора.
31. Методы параметризации аккумулятора и батареи аккумуляторов.
32. Типы и классификация испытаний устройств. Особенности проведения испытаний для устройств различного типа.
33. Климатические, вакуумные и термо-вакуумные испытания. Цели проведения испытаний. Используемое оборудование. Особенности проведения испытания.
34. Виброиспытания. Цели проведения испытаний. Используемое оборудование. Особенности проведения испытания.

Дополнительные вопросы:

1. Как определить количество кислорода и тип функциональных групп, образовавшихся в результате окисления графита $\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$?
2. Как определить изменение состава и степени окисления металлов в катодном материале $\text{LiCo}_1/3\text{Ni}_1/3\text{Mn}_1/3\text{Al}_0.1\text{O}_2$, произошедшее после его циклирования в литий-ионном аккумуляторе?
3. Как определить чистоту, наличие примесных фаз и охарактеризовать загрязнение поверхности, размер кристаллитов и их взаимную ориентацию для поликристаллической фольги меди.
4. Как определить состав электролита в отработанном литий-ионном аккумуляторе? Какие этапы пробоподготовки надо провести?
5. Каким способом можно экспериментально определить продолжительность эксплуатации и оценить оставшийся циклический ресурс аккумуляторной батареи из электромобиля если известна только начальная емкость ячейки?

Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов – выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов – выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов – выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов – выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов – выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов – выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла – выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний недостаточно правильные формулировки базовых понятий нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла – выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний допускающему ошибки в формулировках базовых понятий нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла – выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл – выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

В осеннем семестре предусмотрен дифференцированный зачет (устный, который проводится по вопросам программы (в билете два теоретических вопроса). Опрос по билету не может превышать 60 минут, на подготовку выделяется не более 60 минут.