

**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**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Физико-химические основы электрохимических накопителей энергии
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра нанометрологии и наноматериалов
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составили:

Д.М. Иткис, канд. хим. наук

В.А. Визгалов, канд. хим. наук

В.В. Кривецкий, канд. хим. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры нанометрологии и наноматериалов 12.02.2024

## Аннотация

Дисциплина «Физико-химические основы электрохимических накопителей энергии» направлена на развитие профильных компетенций и представлений об основных электрохимических теориях и концепциях, описывающих процессы, протекающие в металл-ионных и пост-литиевых аккумуляторах вследствие углубления и систематизации знаний о классификации, используемых материалах и основах технологий производства вторичных ХИТ с целью осуществления планирования, проектирования, расчета и анализа результатов испытаний аккумуляторных ячеек

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- формирование у обучающихся специализированных представлений о видах, принципах работы, основных физико-химических принципах функционирования и технологии вторичных химических источников тока, включая литий- и натрий-ионные аккумуляторы и пост-металл-ионные системы, а также об основных классах материалов для электрохимических накопителей энергии.

#### Задачи дисциплины

- углубление базовых фундаментальных и формирование специализированных знаний и представлений о принципах работы, основных процессах и их механизмах и теоретическом описании, лежащих в основе современных электрохимических накопителей энергии, о материалах используемых для их изготовления.

### 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 используемых современных вторичных ХИТ, их преимущества и недостатки, физико-химические принципы их работы;
- материалы, используемые в качестве электродов и электролитов в современных вторичных ХИТ;
- основы технологии современных ХИТ, включая металл-ионные.

уметь:

- выполнять расчеты напряжения ХИТ из термодинамических данных, удельной емкости и энергии электрохимических пар;
- объяснять принципы работы различных электрохимических накопителей энергии, кинетику и термодинамику процессов на электродах, выбирать методы их характеристики;
- анализировать результаты электрохимических испытаний;
- анализировать научную литературу с целью выбора информации о работе, перспективах и характеристиках различных материалов для ХИТ;
- готовить электроды из исходных электродных материалов, собирать и проводить электрохимические испытания тестовых ячеек.

владеть:

- основными электрохимическими теориями и концепциями, описывающими процессы на электродах и в электролите, а также принципы работы металл-ионных и пост-литиевых аккумуляторов;
- основными электрохимическими методами характеристики различных электрохимических систем, используемых во вторичных ХИТ;
- ключевыми технологическими приемами, используемыми в производстве металл-ионных ХИТ;
- навыками к интерпретации и обсуждения 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	Общая классификация ХИТ и роль электрохимических накопителей в новом энергопереходе	2			3
2	Термодинамика электрохимических накопителей энергии	2			3
3	Влияние кинетических ограничений на работу электрохимических накопителей энергии	2			3
4	Электролиты для ХИТ	4			4
5	Процессы интеркаляции в электродные материалы. Литий-ионные аккумуляторы	4			4
6	Особенности конверсионных электродных процессов и образования сплавов. Металлический литиевый электрод	4			4
7	Технология производства ЛИА и их жизненный цикл	6			3

8	Аспекты безопасности металл-ионных аккумуляторов	2			3
9	Пост-металл-ионные системы	4			3
Итого часов		30			30
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

##### Семестр: 2 (Весенний)

#### 1. Общая классификация ХИТ и роль электрохимических накопителей в новом энергопереходе

Общая классификация ХИТ. Виды электрохимических накопителей и области их применения. Роль электрохимических накопителей в новом энергопереходе. Первичные и вторичные ХИТ, классификация и основные характеристики, описывающие функционирование ХИТ (разрядное и зарядное напряжения, выход по току и по энергии, емкость, внутреннее сопротивление, максимальная теоретическая удельная энергия, мощность). Обзор электрохимических систем для первичных и вторичных источников тока. Четвертый энергопереход и роль электрохимических накопителей в нем.

#### 2. Термодинамика электрохимических накопителей энергии

Принципы, определяющие емкость и напряжение, уравнение Нернста. Термодинамика электрохимических накопителей энергии. Структура двойного электрического слоя (модели Гельмгольца, Гуи-Чэпмена и Штерна). Электрохимический потенциал. Разрядные кривые и правило фаз Гиббса. Равновесный потенциал. Катодные и анодные материалы в ХИТ. Преимущества использования лития в ХИТ

#### 3. Влияние кинетических ограничений на работу электрохимических накопителей энергии

Основные понятия кинетики электродных процессов. Уравнение Батлера-Фольмера, активационная поляризация. Диффузия электроактивных частиц в растворах электролитов и в твердом теле. Концентрационная поляризация. Диффузия в пористых средах.

#### 4. Электролиты для ХИТ

Электролитическая диссоциация и сольватация. Ионная проводимость и подвижность ионов. Уравнение Нернста-Эйнштейна. Жидкие, гель-полимерные и полимерные электролиты для литиевых и литий-ионных аккумуляторов. Механизмы ионного транспорта в полимерных электролитах, не-Нернстовская подвижность ионов. Представление об электрохимическом окне электролита. Числа переноса и методы их определения. Твердые литий-проводящие электролиты. Механизмы транспорта ионов в твердом теле. Энергия активации проводимости.  $\beta$ -глинозем, NASICON, LISICON, гранаты,  $\text{Li}_{10}\text{GeP}_2\text{S}_{12}$ , аргиродиты. Аморфные ионные проводники. Ионный транспорт в наноструктурированных системах

#### 5. Процессы интеркаляции в электродные материалы. Литий-ионные аккумуляторы

Интеркаляционные процессы на электродах ХИТ, устройство и принцип работы литий-ионного аккумуляторов (ЛИА). Отрицательные электроды для ЛИА. Внедрение катионов лития в графит, изменение кристаллической структуры графита. Жесткие и мягкие модификации углерода. Положительные электроды для ЛИА. Катодные материалы первого поколения: особенности кристаллической структуры, их электрохимические характеристики. Факторы, определяющие потенциалы внедрения/извлечения катионов лития. Механизмы и кинетика интеркаляции/экстракции лития. Катодные материалы второго поколения: особенности строения и электрохимические свойства соединений с анионными группировками (фосфаты, сульфаты, силикаты и т.д.). Перспективы совершенствования литий-ионных аккумуляторов, новые интеркаляционные катодные материалы. Методы синтеза электродных материалов, роль наноструктурирования.

#### 6. Особенности конверсионных электродных процессов и образования сплавов. Металлический литиевый электрод

Конверсионные реакции в положительных электродах ЛИА. Конверсионные реакции в отрицательных электродах ЛИА. Субоксиды переходных металлов. Образование интерметаллидов  $\text{Li}_x\text{Si}_y$ . Литиевые сплавы. Литий-металлические первичные ХИТ и аккумуляторы. Проблемы переосаждения металлического лития и борьба с ними. Дендритообразование (модели с ограниченной диффузией и с ограниченной электромиграцией, время Сэнда). Роль SEI и твердотельной диффузии в металле в нарушении морфологической стабильности фронта электрокристаллизации лития. Пути борьбы с дендритообразованием (добавки к электролитам, полимерные электролиты, электростатическое экранирование, использование механических нагрузок).

#### 7. Технология производства ЛИА и их жизненный цикл

Технологические аспекты изготовления электродов для литий-ионных аккумуляторов. Обзор оборудования и методов, используемых при приготовлении и применении электродных паст. Влияние состава и микроструктуры электродных покрытий на удельные показатели аккумуляторов. Различные типы полимерных связующих. Основные технологические операции по подготовке электродов и сборке электродных блоков. Заправка и корпусирование аккумуляторов. Формование и состаривание. Старение и деградация характеристик ЛИА. Основные механизмы деградации. Жизненный цикл ЛИА и устойчивое развитие. «Вторая жизнь» аккумуляторов. Основные технологии переработки ЛИА. Практический семинар для ознакомления с технологическими аспектами изготовления электродов для литий-ионных аккумуляторов, сборки электродных блоков и получения опыта самостоятельного создания литий-ионных аккумуляторов в форм-факторе coin-cell и pouch-cell. Измерение ключевых функциональных характеристик изготовленных образцов.

#### 8. Аспекты безопасности металл-ионных аккумуляторов

Источники опасности в металл-ионных аккумуляторах. Базовые представления о теории теплового взрыва. Процессы теплового разгона металл-ионного аккумулятора. Процессы разложения SEI. Термическая стабильность катодных материалов. Методы повышения безопасности металл-ионных аккумуляторов. Катодные материалы нового поколения. Специальные сепараторы. Функциональные и пламягасящие добавки в электролиты. Внешние устройства для повышения безопасности (клапаны, РТС, плавкие вставки и др.)

#### 9. Пост-металл-ионные системы

Классы катодных материалов для интеркаляции натрия. Анодные углеродные и неуглеродные материалы для интеркаляции натрия. Механизмы накопления натрия в углеродных материалах. Электролиты для натрий-ионных аккумуляторов. Литий-серные аккумуляторы: принцип работы и основные характеристики. Образование полисульфидов лития и полисульфидный промежуточный комплекс. Литий-воздушные аккумуляторы: принцип работы, классификация и характеристики. Механизмы электрокаталитического восстановления кислорода в водных и апротонных средах. Материалы положительных электродов и их устойчивость. Твердотельные литиевые и литий-ионные аккумуляторы. Принципы работы и основные проблемы разработки твердотельных аккумуляторов. Интерфейсы твердое-твердое и их модификация как основной аспект создания твердотельных аккумуляторов.

## **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. Б. Б. Дамаскин, О. А. Петрий, Г. А. Цирлина. Электрохимия. — 3-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2022.
2. А.К. Иванов-Шиц, И.В. Мурин. Ионика твердого тела. Том I. Изд-во СПб университета, 2000.
3. Козадеров О.А., Введенский А.В. Современные химические источники тока. 3-е изд., испр. Изд-во Лань, 2021.

### Дополнительная литература

Литература выдается на базовой кафедре:

1. V.S. Bagotsky, A.M. Skundin, Y.M. Volkovich. Electrochemical Power Sources: Batteries, Fuel Cells, and Supercapacitors. Wiley, 2015
2. Advanced batteries. Edited by R.Huggins. Springer, 2009
3. Lithium Batteries: Advanced Technologies and Applications. Edited by B. Scrosati, K.M. Abraham, W. Van Schalkwijk, J. Hassoun. JohnWiley&Sons, 2013
4. Linden's Handbook of Batteries, 4th Edition. Edited by T.B.Reddy. McGraw-Hill, 2010
5. Allen J. Bard, Larry R. Faulkner, Henry S. White. Electrochemical methods: Fundamentals and Applications. John Wiley & Sons, 2022.

## **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 для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- 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)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра нанометрологии и наноматериалов
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

**Разработчики:**

Д.М. Иткис, канд. хим. наук  
В.А. Визгалов, канд. хим. наук  
В.В. Кривецкий, 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 основы электрохимических накопителей энергии» обучающийся должен:

### знать:

- основные виды используемых современных вторичных ХИТ, их преимущества и недостатки, физико-химические принципы их работы;
- материалы, используемые в качестве электродов и электролитов в современных вторичных ХИТ;
- основы технологии современных ХИТ, включая металл-ионные.

### уметь:

- выполнять расчеты напряжения ХИТ из термодинамических данных, удельной емкости и энергии электрохимических пар;
- объяснять принципы работы различных электрохимических накопителей энергии, кинетику и термодинамику процессов на электродах, выбирать методы их характеристики;
- анализировать результаты электрохимических испытаний;
- анализировать научную литературу с целью выбора информации о работе, перспективах и характеристиках различных материалов для ХИТ;
- готовить электроды из исходных электродных материалов, собирать и проводить электрохимические испытания тестовых ячеек.

### владеть:

- основными электрохимическими теориями и концепциями, описывающими процессы на электродах и в электролите, а также принципы работы металл-ионных и пост-литиевых аккумуляторов;
- основными электрохимическими методами характеристики различных электрохимических систем, используемых во вторичных ХИТ;
- ключевыми технологическими приемами, используемыми в производстве металл-ионных ХИТ;
- навыками к интерпретации и обсуждения 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 экзамену:

1. Общая классификация ХИТ. Первичные и вторичные ХИТ, классификация и основные характеристики, описывающие функционирование ХИТ (разрядное и зарядное напряжения, выход по току и по энергии, емкость, внутреннее сопротивление, максимальная теоретическая удельная энергия, мощность).
2. Принципы, определяющие емкость и напряжение, уравнение Нернста. Термодинамика электрохимических накопителей энергии.
3. Структура двойного электрического слоя (модели Гельмгольца, Гуи-Чэпмэна и Штерна).
4. Электрохимический потенциал. Разрядные кривые и правило фаз Гиббса. Равновесный потенциал.
5. Уравнение Батлера-Фольмера, активационная поляризация.
6. Диффузия электроактивных частиц в растворах электролитов и в твердом теле. Концентрационная поляризация.
7. Концентрационная поляризация. Диффузия в пористых средах.
8. Электролитическая диссоциация и сольватация. Ионная проводимость и подвижность ионов. Уравнение Нернста-Эйнштейна. Числа переноса и методы их определения.
9. Механизмы ионного транспорта в полимерных электролитах, не-Нернстовская подвижность ионов.
10. Твердые литий-проводящие электролиты. Механизмы транспорта ионов в твердом теле. Энергия активации проводимости.
11. Интеркаляционные процессы на электродах ХИТ, устройство и принцип работы литий-ионного аккумуляторов (ЛИА).
12. Отрицательные электроды для ЛИА. Внедрение катионов лития в графит, изменение кристаллической структуры графита. Жесткие и мягкие модификации углерода.
13. Положительные электроды для ЛИА. Катодные материалы первого и второго поколения: особенности кристаллической структуры, их электрохимические характеристики. Факторы, определяющие потенциалы внедрения/извлечения катионов лития.
14. Механизмы и кинетика интеркаляции/экстракции лития.
15. Конверсионные реакции в положительных и отрицательных электродах ЛИА.
16. Литиевые сплавы. Литий-металлические первичные ХИТ и аккумуляторы. Проблемы пересадки металлического лития и борьба с ними. Роль SEI и твердотельной диффузии в металле в нарушении морфологической стабильности фронта электрокристаллизации лития.
17. Технологические аспекты изготовления электродов для литий-ионных аккумуляторов. Основные технологические операции по подготовке электродов и сборке электродных блоков. Заправка и корпусирование аккумуляторов. Формование и состаривание.
18. Старение и деградация характеристик ЛИА. Основные механизмы деградации.
19. Классы катодных материалов для интеркаляции натрия. Анодные углеродные и неуглеродные материалы для интеркаляции натрия. Механизмы накопления натрия в углеродных материалах. Электролиты для натрий-ионных аккумуляторов.

20. Базовые представления о теории теплового взрыва. Процессы теплового разгона металл-ионного аккумулятора. Методы повышения безопасности металл-ионных аккумуляторов.
21. Литий-серные аккумуляторы: принцип работы и основные характеристики. Образование полисульфидов лития и полисульфидный промежуточный комплекс.
22. Литий-воздушные аккумуляторы: принцип работы, классификация и характеристики. Механизмы электрокаталитического восстановления кислорода в водных и апротонных средах. Химическая устойчивость компонентов литий-воздушного аккумулятора и его деградация.
23. Твердотельные литиевые и литий-ионные аккумуляторы: принцип работы. Основные проблемы разработки твердотельных аккумуляторов. Интерфейсы твердое-твердое и пути их оптимизации для создания твердотельных аккумуляторов.

Дополнительные вопросы:

1. Рассчитайте теоретическую удельную энергию аккумулятора с отрицательным электродом на основе графита и положительным электродом на основе  $\text{LiFePO}_4$ . Оцените его практическую удельную энергию
2. На микрофотографии изображена микроструктура порошка  $\text{LiCoO}_2$ . Рассчитайте его теоретическую удельную емкость и максимальный ток, при котором возможно достижение такой емкости на практике, считая коэффициент диффузии  $\text{Li}^+$  равным  $10^{-9} \text{ см}^2/\text{с}$ .
3. На рисунке изображены разрядные и зарядные кривые ячейки, состоящей из металлического литиевого отрицательного электрода и положительного электрода из оксидного материала, интеркалирующего литий. Объясните наблюдаемую разницу в кривых для различных токов. Изобразите участок фазовой диаграммы в координатах «температура – состав» для данного оксида в области комнатной температуры, при которой и были проведены измерения.
4. На рисунке показаны разрядные кривые, зарегистрированные в ячейке с отрицательным электродом из металлического лития. Предположите, что являлось материалом положительного электрода. Какую микроструктуру имел этот материал? Постройте диаграмму Рагоне для данной ячейки.
5. На рисунке показана зависимость разрядной емкости литий-кислородной ячейки от размера пор в её углеродном катоде. Какие процессы протекают при разряде этой ячейки? Чем объясняется показанная на рисунке зависимость? Какой электролит использовали для показанных измерений?
6. Сравните электрохимические свойства двух катодных материалов, кривые заряда-разряда которых представлены на рисунке.

Примеры экзаменционных билетов.

Пример 1:

1. Ионная проводимость в растворах и расплавах электролитов. Ион-проводящие полимерные системы – механизмы проводимости и примеры. Суперионники – механизмы проводимости и примеры.
2. Связь электронной структуры электродных материалов и потенциала электрода. Примеры отрицательных и положительных электродных материалов для ЛИА.

Пример 2:

1. Перечислите основные проблемы безопасности при использовании ЛИА. Чем они вызваны? Предположите, какая электрохимическая система позволяет создавать наиболее безопасные ЛИА.
2. На рисунках показаны результаты хронопотенциометрических измерений в электрохимической ячейке, одним из электродов в которой являлся металлический литий. Какова электрохимическая емкость данных ячеек? Предположите, какой материал выступал в роли второго электрода. Как применяют подобные материалы в аккумуляторах? Какова кулоновская эффективность ячеек? Почему?

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**

По результатам освоения курса предусмотрен устный экзамен, проводимый по билетам. В экзаменационном билете два вопроса. Опрос по билету не должен превышать 40 минут, время на подготовку у ответу 60 минут.