

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»  
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет  
Кафедра нанокompозитных материалов**

УТВЕРЖДАЮ  
Декан ФФ  
академик РАН А. Е. Бондарь  
2020 г.



**Рабочая программа дисциплины**

**НАНОКОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

направление подготовки: **03.04.02 Физика, Курс 1, семестр 1**  
направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения  
**Очная**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	72	16	16		18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётных единицы, из них: - контактная работа 36 часов - в интерактивных формах 16 часов										
Компетенции ПК-1, ПК-2										

Разработчик:  
д.х.н., профессор

Н.Ф. Уваров

Зам. зав. КафНKM ФФ НГУ  
д.х.н., доцент

А.А. Хасин

Руководитель программы  
д.ф.-м.н.

И. Б. Логашенко

Новосибирск, 2020

<b>Содержание</b>	
<b>Аннотация</b> .....	3
1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы. ....	4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы. ....	5
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу. ....	5
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий. ....	6
5. Перечень учебной литературы. ....	13
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся. ....	14
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины. ....	14
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине. ....	14
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине. ....	15
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине. ....	15

**Аннотация**  
**к рабочей программе дисциплины**  
**«Нанокompозитные материалы для электрохимической энергетики»**  
Направление: **03.04.02 Физика**  
**Направленность (профиль): Общая и фундаментальная физика**

Программа курса «Нанокompозитные материалы для электрохимической энергетики» составлена в соответствии с требованиями СУОС к уровню подготовки магистра по направлению **03.04.02 Физика, направленность «Общая и фундаментальная физика»**, а также задачами, стоящими перед Новосибирским государственным университетом по реализации Программы развития НГУ. Дисциплина реализуется на физическом факультете Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Новосибирский государственный университет (НГУ) межфакультетской кафедрой нанокompозитных материалов. Дисциплина изучается студентами первого курса магистратуры физического факультета в осеннем семестре в качестве факультатива.

Цель курса – дать магистрантам базовые знания, умения и навыки по функциональным нанокompозитным материалам, используемым в устройствах автономной энергетики, ознакомить с принципами работы химических источников тока, топливных элементов и электрохимических суперконденсаторов, сформулированы требования к наноматериалам, используемым в каждом конкретном случае.

Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося **профессиональных компетенций (ПК):**

**ПК-1** - способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта:

**ПК-2** - способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности:

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **знать** основные характеристики нанокompозитных электролитов и электродных материалов при их использовании в устройствах для преобразования химической энергии в электричество;

- **уметь** предсказывать и объяснять особенности электрических и электрохимических свойств нанокompозитных материалов различного типа;

- **владеть** представлениями об особенностях ионного переноса в ионных соединениях и композитных материалах, принципах действия и областях применения электрохимических устройств с нанокompозитными материалами.

Курс рассчитан на один семестр. Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, консультации, самостоятельная работа магистранта и её контроль преподавателями с помощью заданий, экзаменов.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль успеваемости: контрольные вопросы на знание материала предыдущей лекции, домашние задания для самостоятельного решения, контрольные работы.

Промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет **72 академических часа / 2 зачетные единицы**.

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

Курс «Нанокompозитные материалы для электрохимической энергетики» предназначен для приобретения магистрантами современных представлений и знаний о функциональных нанокompозитных материалах, используемых в устройствах автономной энергетики, формирования умения «читать» данные и активно использовать их в своей научно-исследовательской работе.

Основной целью освоения курса является формирование у студентов профессиональных научно-исследовательских навыков по приобретению студентами современных представлений о функциональных нанокompозитных материалах, используемых в устройствах автономной энергетики.

Для достижения этой цели выделяются задачи курса:

- получение знаний термодинамике нанокompозитов, размерных эффектах и основных методах синтеза нанокompозитов;
- ознакомление с термодинамическими основами процессов преобразования химической энергии в электричество и основных типах химических источников тока;
- детальный анализ всех компонентов химических источников, формулировка требований к электродным материалам и электролитам, ознакомление с твердотельными электрохимическими устройствами и их компонентами;
- получение знаний о нанокompозитных материалах: твердых электролитах и электродных материалах со смешанной электронно-ионной проводимостью, о нерешенные проблемах и современных достижениях в области разработки таких наноматериалов;
- ознакомление с применением нанокompозитных материалов в электрохимических устройствах: электрохимических преобразователях, суперконденсаторах, гибридных устройствах автономной энергетики.

Такие специальные знания необходимы современному специалисту, работающему в области функциональных нанокompозитных материалов, используемых в устройствах автономной энергетики.

Дисциплина нацелена на формирование у магистранта профессиональных компетенций (ПК):

*в научно-исследовательской деятельности:*

- способностью самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта (ПК-1):

ПК-1.1 знать основные характеристики нанокompозитных электролитов и электродных материалов при их использовании в устройствах для преобразования химической энергии в электричество.

ПК-1.2 уметь: предсказывать и объяснять особенности электрических и электрохимических свойств нанокompозитных материалов различного типа.

*в научно-инновационной деятельности:*

- способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности (ПК-2):

ПК-2.3 владеть: представлениями об особенностях ионного переноса в ионных соединениях и композитных материалах, принципах действия и областях применения электрохимических устройств с нанокompозитными материалами.

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Курс «Нанокompозитные материалы для электрохимической энергетики» читается в первом семестре 1 курса для магистрантов, обучающихся на кафедре нанокompозитных материалов. Дисциплина «Нанокompозитные материалы для электрохимической энергетики» развивает знания, умения и навыки, сформированные у обучающихся по результатам общей базовой подготовки в рамках программ бакалавриата. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору из факультативной части программы подготовки по направлению 03.04.02 Физика, направленность «Общая и фундаментальная физика». Дисциплина должна предшествовать выполнению магистерской диссертации т.к. дает магистранту необходимые знания и навыки для выполнения на современном уровне структурных и физико-химических исследований, связанных с изучением свойств нанокompозитных материалов, используемых в устройствах электрохимической энергетики.

## 3. Трудоемкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	72	16	16		18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётных единицы, из них: - контактная работа 36 часов - в интерактивных формах 16 часов										
Компетенции ПК-1, ПК-2										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, практические занятия, консультации, самостоятельная работа магистранта и её контроль преподавателями с помощью заданий, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль успеваемости: контрольные вопросы на знание материала предыдущей лекции, домашние задания для самостоятельного решения, контрольные работы.

Промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 16 часов;
- практические занятия – 16 часов;
- самостоятельная работа в течение семестра, не включая период сессии – 18 часов;
- промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена и экзамен) – 22 часа;

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, групповые консультации, экзамен) составляет 36 часов.

Работа с обучающимися в интерактивных формах составляет 16 часов.

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

Дисциплина «Нанокompозитные материалы для электрохимической энергетики» представляет собой полугодовой курс, читаемый в магистратуре физического факультета НГУ в осеннем семестре 1 курса. Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)					Консультации перед экзаменом (часов)	Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	Сам. работа во время промежуточной аттестации		
				Лекции	Практические занятия				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Классификация композитов по различным критериям. Фазовые диаграммы и фазовые равновесия в бинарных системах.	1	6	2	2	2			
2	Поверхностная энергия и поверхностное натяжение. Размерные эффекты в простых веществах. Влияние размера и морфологии частиц на физико-химические свойства веществ.	2	4	1	1	2			

3	Энергия Гиббса бинарной системы с учетом размерных эффектов. Изменение физико-химических характеристик веществ в нанокompозитах.	3	4	1	1	2			
4	Гальванический элемент, электроды и электролит, электродный потенциал. Первичные и вторичные химические источники тока, расчет напряжения разомкнутой цепи. Неравновесные процессы, теоретическое описание кинетики электродной реакции.	4	3	1	1	1			
5.	Электролиты на основе водных растворов. Электролитическая диссоциация. Ионные расплавы и ионные жидкости. Ионная проводимость кристаллов. Точечные дефекты, диффузия ионов, соотношение Ненста-Эйнштейна. Суперионные	5	3	1	1	1			

	проводники, аморфные и полимерные электролиты.								
6.	Дефекты на поверхности кристалла. Ускоренная диффузия ионов по границам зерен с ионных соединений. Замедленная диффузия вдоль границ зерен в суперионных соединениях.	6	3	1	1	1			
7	Электронные проводники. Нестехиометрия, зависимость концентрации ионных и электронных дефектов от активности частиц в окружающей среде.	7	3	1	1	1			
8	Соединения с высокой смешанной электронно-ионной проводимостью. Химическая диффузия. Сопряженный перенос ионов и электронов. Транспортные свойства материалов со смешанной проводимостью под воздействием градиента химического потенциала.	8	3	1	1	1			
9	Проводимость композитов:	9	3	1	1	1			



	описание с помощью точных моделей, теории эффективной среды, перколяционных подходов. Влияние морфологии на характеристики материалов.								
10	Дефекты на границе раздела фаз ионная соль/оксид. Образование двойного электрического слоя на интерфейсе в результате селективной адсорбции ионов, композиционные твердые электролиты.	10	3	1	1	1			
11	Размерные эффекты в нанокompозитных твердых электролитах: стабилизация аморфных фаз на границе раздела фаз. Описание транспортных свойств нанокompозитных твердых электролитов.	11	3	1	1	1			
12	Размерные эффекты в нанокompозитных электродных материалах. Транспортные и свойства нанокompозитов на основе	12	3	1	1	1			

	нестехиометрических соединений со смешанной электронно-ионной проводимостью.								
13	Литиевые аккумуляторы. Катоды, аноды и электролиты для литиевых аккумуляторов. Другие типы аккумуляторов. Экспериментальные методы исследования характеристик аккумуляторов.	13	3	1	1	1			
14	Топливные элементы. Типы топливных элементов. Нанокompозитные материалы для топливных элементов. Экспериментальные методы исследования характеристик топливных элементов.	14	3	1	1	1			
15	Традиционные конденсаторы и двойнослойные суперконденсаторы. Эффект псевдоемкости. Гибридные суперконденсаторы. Экспериментальные методы исследования характеристик суперконденсаторов.	15	3	1	1	1			
16	Самостоятельная подготовка к экзамену		18				18		
17	Консультации		2					2	

18	Экзамен		2						2
	<b>Всего</b>		<b>72</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>2</b>	<b>2</b>

### Программа и основное содержание лекций (16 часов)

#### Модуль 1. Нанокompозиты: термодинамическое описание и размерные эффекты.

**1. Термодинамическое описание композита.** Определение композита, отличие композита от смеси. Классификация композитов по различным критериям.

Фазовые диаграммы и фазовые равновесия в бинарных системах, области термодинамической стабильности композитов. Энергия Гиббса бинарной системы, процессы самопроизвольного образования композитов.

**2. Размерные эффекты.** Поверхностная энергия и поверхностное натяжение и его роль в процессах зародышеобразования. Термодинамическое описание частиц простого вещества с учетом конечного размера и морфологии частиц в рамках классической модели. Размерные эффекты в простых веществах. Влияние размера и морфологии частиц на температуры плавления, температуры фазовых переходов, теплоемкость и растворимость веществ. Влияние размера частиц на электронные свойства веществ. Квантовые размерные эффекты.

**3. Размерные эффекты в нанокompозитах.** Энергия Гиббса бинарной системы с учетом размерных эффектов. Роль энергии адгезии в процессах самопроизвольного образования композитов. Изменение физико-химических характеристик веществ в нанокompозитах. Стабилизация неравновесных фаз и состояний, стабилизированных поверхностным взаимодействием между компонентами нанокompозита.

#### Модуль 2. Электрохимические системы.

**4. Общие характеристики электрохимических систем.** Гальванический элемент, электроды и электролит, электродный потенциал, уравнение Нернста. Термодинамическое описание гальванического элемента, типы гальванических элементов. Первичные и вторичные химические источники тока, расчет напряжения разомкнутой цепи.

**5. Кинетика электродных процессов.** Неравновесные процессы, электродная поляризация, образование двойного электрического слоя. Теоретическое описание кинетики электродной реакции в рамках модели Фольмера-Баттлера. Уравнение Тафеля. Электрохимические реакции различного типа и факторы, влияющие на их кинетику.

**6. Электролиты для электрохимических систем.** Электролиты на основе водных растворов. Подвижность ионов и электропроводность электролитов. Числа переноса. Электролитическая диссоциация. Зависимость электропроводности от концентрации растворенного вещества. Ионные расплавы и ионные жидкости. Напряжение электрохимического разложения электролита. Области применения традиционных электролитов.

**7. Твердые электролиты.** Ионная проводимость кристаллов. Точечные дефекты Шоттки и Френкеля, собственные и примесные дефекты в кристаллах. Подвижность и проводимость кристаллических соединений, диффузия ионов, соотношение Ненста-Эйнштейна. Соединения со структурным разупорядочением: суперионные проводники, аморфные и полимерные твердые электролиты. Области применения твердых электролитов.

Дефекты на поверхности кристалла. Модели Френкеля и Кливера для описания характеристик двойного электрического слоя на поверхности и межзеренных границах ионного кристалла.

Ускоренная диффузия ионов по границам зерен с ионных соединениях. Замедленная диффузия вдоль границ зерен в суперионных соединениях.

**8. Электродные материалы электрохимических систем.** Электронные проводники, подвижность электронов и проводимость металлов и полупроводников. Нестехиометрия, зависимость концентрации ионных и электронных дефектов от активности электрохимически активных частиц в окружающей среде. Влияние электронной структуры материала на его электродный потенциал. Соединения с высокой смешанной электронно-ионной проводимостью. Химическая диффузия. Сопряженный перенос ионов и электронов. Транспортные свойства материалов со смешанной проводимостью под воздействием градиента химического потенциала.

**Модуль 3. Нанокompозитные материалы: электролиты и электродные материалы.**

**9. Транспортные свойства обычных композитов.** Проводимость композитов: описание с помощью точных моделей, теории эффективной среды, перколяционных подходов. Влияние морфологии на характеристики материалов. Использование уравнений смешения. Диэлектрическая проницаемость композитов.

**10. Нанокompозитные твердые электролиты.** Дефекты на границе раздела фаз ионная соль/оксид. Модели Вагнера-Майера и Штерна, описывающие процесс образования двойного электрического слоя на интерфейсе в результате селективной адсорбции ионов. Ускоренная диффузия ионов вдоль межфазных границ, композиционные твердые электролиты. Размерные эффекты в нанокompозитных твердых электролитах: стабилизация аморфных фаз на границе раздела фаз. Влияние морфологии нанокompозита на его транспортные свойства. Описание транспортных свойств нанокompозитных твердых электролитов.

**11. Нанокompозитные электродные материалы.** Размерные эффекты в нанокompозитных электродных материалах. Изменение каталитической активности электродов в зависимости от размера частиц металла-катализатора. Транспортные и свойства нанокompозитов на основе нестехиометрических соединений со смешанной электронно-ионной проводимостью.

**Модуль 4. Электрохимические устройства с нанокompозитными компонентами.**

**12. Батареи и аккумуляторы.** Литиевые аккумуляторы. Катоды, аноды и электролиты для литиевых аккумуляторов. Литий-серные и натрий-серные аккумуляторы. Металл-воздушные батареи и аккумуляторы. Катодные, анодные материалы и электролиты. Экспериментальные методы исследования характеристик аккумуляторов.

**13. Топливные элементы и другие химические источники тока.** Топливные элементы. Типы топливных элементов: кислотные, щелочные, карбонатные, твердооксидные. Преимущества и недостатки. Нанокompозитные материалы для топливных элементов: электролиты, катодные и анодные материалы. Экспериментальные методы исследования характеристик топливных элементов. Другие типы химических источников тока: проточные элементы, фотоэлектрохимические системы.

**14. Суперконденсаторы.** Традиционные конденсаторы и двойнослойные суперконденсаторы. Электролиты и электродные материалы. Эффект псевдоемкости. Гибридные суперконденсаторы. Экспериментальные методы исследования характеристик суперконденсаторов.

### **Программа практических занятий (16 часов)**

1. Ознакомление с фазовыми диаграммами различного типа. Определение фаз, их состава и агрегатного состояния. Определение типа фазовых превращений и областей стабильности композитов.

2. Расчет изменения различных характеристик веществ вследствие размерных эффектов. Количественная оценка размера частиц на температуры плавления, температуры фазовых переходов и растворимость веществ.

3. Оценка влияния энергии адгезии на процессы самопроизвольного образования композитов в результате поверхностного взаимодействия между компонентами нанокompозита.

4. Расчет напряжения гальванического элемента с использованием значений стандартных электродных потенциалов, уравнения Нернста и концентраций реагентов в растворе или газе.

5. Расчет кинетики типичной электрохимической реакции с помощью уравнения Тафеля. Оценка предельного диффузионного тока и сопротивления стадии разряда.

6. Расчет подвижности ионов и электропроводности растворов сильных электролитов с использование табличных данных. Оценка чисел переноса.

7. Оценка равновесной концентрации точечных дефектов Шоттки и Френкеля. Оценка температуры перехода от собственной проводимости к примесной в ионных кристаллах.

8. Расчет концентрации дефектов на поверхности и межзеренных границах ионных кристаллов.

9. Расчет концентрации электронных и ионных дефектов в зависимости от парциального давления компонентов в нестехиометрических веществах.

10. Расчет проводимости различных материалов с использованием уравнений смешения.

11. Расчет проводимости и диффузии ионов в нанокompозитных твердых электролитах с учетом вклада интерфейсов в общую проводимость.

12. Расчет транспортных свойств нанокompозитов на основе нестехиометрических соединений со смешанной электронно-ионной проводимостью.

13. Расчет теоретической емкости и мощности литиевых аккумуляторов с различными катодными и анодными материалами.

14. Построение вольтамперной характеристики топливного элемента. Исследование влияния сопротивления стадии разряда, адсорбции газов на электродах и сопротивления электролита на вид кривой.

15. Расчет теоретических характеристик суперконденсатора с электродными материалами, обладающими различными значениями удельной поверхности.

16. Контрольная работа по тематике курса.

### Самостоятельная работа студентов (36 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям.	6
Подготовка к контрольным работам	6
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	6
Подготовка к экзамену	18

## 5. Перечень учебной литературы.

### 5.1. Основная литература

1. Вест А.Химия твердого тела. Теория и приложение: В 2-х Ч./Пер.с англ.. М.: Мир, 1988, т.1, 558 с.; т.2, 336 с.

2. Адамсон А. Физическая химия поверхностей. "Мир", Москва, 1979 г., , 568 стр.
3. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Цирлина Г.А.. Электрохимия. Москва: Химия: Колосс, 2006 670 стр.

### **5.2. Дополнительная литература**

4. Чеботин В.Н. Физическая химия твердого тела. М.: Химия, 1982. — 320 с
5. Рабинович В.А. Краткий химический справочник / Под общ.ред.А.А.Потехина,А.И.Ефимова 3-е изд.,перераб.и доп. Л. : Химия, 1991, 432 с.

### **6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.**

**Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:**

1. Вест А.Химия твердого тела. Теория и приложение: В 2-х Ч./Пер.с англ.. М.: Мир, 1988, т.1, 558 с.; т.2, 336 с.
2. Адамсон А. Физическая химия поверхностей. "Мир", Москва, 1979 г., , 568 стр.
3. Дамаскин Б. Б., Петрий О. А., Цирлина Г. А. Электрохимия. М.: Химия, 2001.
4. Чеботин В.Н. Физическая химия твердого тела. М.: Химия, 1982. — 320 с.
5. Справочник по электрохимии / [А.М. Сухотин, Р.К. Астахова, А.А. Белюстин и др.] ; Под ред. А.М. Сухотина. Л. : Химия, 1981, 486 с.
6. Уваров Н.Ф. Композиционные твердые электролиты. Новосибирск, 2008, 258 с.

### **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.**

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

#### **7.1 Современные профессиональные базы данных**

1. Химический каталог. Неорганическая химия. Сайты и книги [www.ximicat.com](http://www.ximicat.com)
2. Chemnet - официальное электронное издание Химического факультета <http://www.chem.msu.ru/rus>
3. Справочно-информационный сайт по химии <http://www.alhimikov.net>

#### **7.2. Информационные справочные системы**

Не используются.

### **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.**

Для обеспечения реализации дисциплины используются аудитории, оборудованные всем необходимым для чтения лекций (доска, экран, компьютер, мультимедийный проектор), в том

числе стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

## **9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Для проведения занятий лекционного типа предлагаются следующие наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий:

- комплект лекций-презентаций по темам дисциплины.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

## **10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.**

### **10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине**

#### ***Текущий контроль***

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем проверки ответов на вопросы для проверки знания материала предыдущей лекции. Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в виде экзамена.

**Текущая аттестация** по дисциплине проводится в форме сдачи 10 домашних заданий и 1 контрольной работы. Максимальные оценки за выполнение каждого задания - 3 балла, контрольной работы – 30 баллов. Максимальное количество баллов, которое может набрать студент в течение семестра – 60 баллов. Если студент набрал более 25 баллов, то он получает допуск к сдаче экзамена. Каждое домашнее задание представляет собой набор письменных задач, которые студент решает самостоятельно и сдает преподавателю строго по графику, определяемому контрольными сроками преподавателем. Правильное решение задания, выполненное в контрольный срок, оценивается на 3 балла. Выполнение задания позднее контрольного срока является основанием для снижения балла. Контрольная работа проводится в середине семестра и представляет собой набор письменных задач, которые студент решает в течение 2 академических часов. Контрольная работа содержит 5 задач, правильное решение каждой задачи оценивается в 2 балла. Ошибки в решении при общем правильном ходе решения является основанием для снижения балла. Общий балл за выполнение контрольной работы получается суммированием баллов за все задачи.

### **Промежуточная аттестация**

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленные компетенции ПК-1 и ПК-2 сформированы не ниже порогового уровня.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в форме теста, экзаменационные билеты содержат как теоретические вопросы, так и задачи по курсу. За успешную сдачу экзамена студент может получить максимальное количество - 40 баллов. Баллы, полученные в течение семестра, суммируются с баллами, полученными на экзамене. Оценка «отлично» выставляется, если студент набрал более 80 баллов, оценка хорошо – от 60 до 80 баллов, «удовлетворительно» - от 30 до 60 баллов. Если студент набрал менее 30 баллов, то ему ставится оценка «неудовлетворительно». Во время пересдачи экзамена оценка выше «удовлетворительно» не выставляется. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенций ПК-1 и ПК-2.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

### **Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Нанокompозитные материалы для электрохимической энергетики».**

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/ несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 1.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.



Наличие навыков (владение опытом)	ПК 2.3	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.
-----------------------------------	--------	--	--	--	---

## 10.2 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

### Перечень задач для домашних заданий:

**Задача 1.** Оценить значение точки ликвидуса бинарной системы системы состава  $90\text{NaCl}-10\text{CsCl}$  если значения энтальпии и температуры плавления  $\text{NaCl}$  равны  $28,5 \text{ кДж/моль}$  и  $801 \text{ оС}$ , соответственно. Считать, что в системе не образуется твердых растворов.

**Задача 2.** Значения удельной поверхностной энергии кристаллического и жидкого серебра равны  $1.1$  и  $0.9 \text{ Дж/м}^2$ , соответственно. Пользуясь справочными данными, оценить температуру плавления серебра с размером частиц  $10 \text{ нм}$ .

**Задача 3.** Определить растворимость карбоната бария с размером частиц  $10 \text{ нм}$ , если стандартное значение произведения растворимости равно  $\text{PP} = 5 \cdot 10^{-9}$ , а значение удельной поверхностной энергии равно  $6.5 \text{ Дж/м}^2$ .

**Задача 4.** Оценить размер частиц меди, если экспериментально наблюдаемое значение температуры плавления снизилось на  $100 \text{ К}$ . Значения удельной поверхностной энергии кристаллического и жидкого серебра равны  $1.37$  и  $1.15 \text{ Дж/м}^2$ , соответственно.

**Задача 5.** Оценить размер критического зародыша серебра, если значение удельной поверхностной энергии равно  $1.1 \text{ Дж/м}^2$ , а плотность равна  $10,5 \text{ г/см}^3$ .

**Задача 6.** Как изменится цвет селенида цинка, имеющего ширину запрещенной зоны  $2 \text{ эВ}$  при уменьшении его размера до значений ниже  $10 \text{ нм}$ ?

**Задача 7.** Из справочных термодинамических данных оценить ЭДС гальванического элемента  $\text{Pb} / (\text{водный раствор } 1\text{M PbCl}_2 + 1\text{M ZnCl}_2) / \text{Zn}$ .

**Задача 8.** Из справочных термодинамических данных оценить ЭДС твердотельного гальванического элемента  $\text{Pb/PbI}_2/\text{AgI/Ag}$ .

**Задача 9.** Из справочных данных оценить как изменится ЭДС топливного элемента  $\text{H}_2, \text{Pt} / (\text{водный раствор } \text{H}_2\text{SO}_4) / \text{O}_2, \text{Pt}$  при изменении следующих параметров:

- уменьшении температуры от  $25$  до  $-50 \text{ оС}$ ;
- увеличении концентрации кислоты от  $0.1$  до  $10 \text{ М}$
- изменении парциального давления водорода от  $10^{-10}$  до  $1 \text{ атм}$  (давление кислорода равно  $1 \text{ атм}$ ).

**Задача 10.** Рассчитать стандартное значение энергии Гиббса образования  $\Delta G_f^0$  хлорида свинца, если значения ЭДС гальванических элементов  $\text{Pb} / (\text{водный раствор } 1\text{M PbSO}_4 + 1\text{M ZnSO}_4) / \text{Zn}$  и  $\text{Zn} / (\text{водный раствор } 1\text{M ZnSO}_4) / \text{Pt}, \text{Cl}_2 (0.01 \text{ атм})$  равны  $0.652$  и  $1.576 \text{ В}$ , соответственно.

**Задача 11.** Как изменятся токи обмена электрохимической реакции, протекающей в топливном элементе  $\text{H}_2, \text{Pt} / (\text{водный раствор } \text{H}_2\text{SO}_4) / \text{O}_2, \text{Pt}$ , если

- уменьшить на порядок размер частиц платины на одном из электродов
- уменьшить на порядок размер частиц платины на обоих электродах

**Задача 12.** Определить значение подвижности ионов, электропроводности и чисел переноса в водном растворе  $[(\text{CH}_3)_2\text{NH}_2]\text{ClO}_4$  с концентрацией 0.001 М по значениям предельной ионной электропроводности  $\lambda_0$ : 51,87 и 67,36 Ом<sup>-1</sup>см<sup>2</sup>/моль, для катиона и аниона, соответственно.

**Задача 13.** Определить значение электропроводности раствора, находящегося в равновесии с осадком хлорида серебра. Значение произведения растворимости  $\text{AgCl}$  равно  $\text{PP} = 1,8 \cdot 10^{-10}$ ; значения предельной ионной электропроводности ионов серебра и хлора  $\lambda_0$  равны 61,90 и 78,14 Ом<sup>-1</sup>см<sup>2</sup>/моль, соответственно.

**Задача 14.** Оценить концентрацию точечных дефектов Шоттки и анти-Френкеля в  $\text{PbF}_2$  при 1000 К, если значения энергии образования соответствующих дефектов равны 2,3 и 1,6 эВ. Энтропийным вкладом пренебречь.

**Задача 15.** Рассчитать значение концентрации точечных дефектов Шоттки в оксиде алюминия при 1000 К, если энергия образования дефектов равна 3 эВ. Энтропийным вкладом пренебречь.

**Задача 16.** Частота ионных перескоков в ионном соединении при 1000 К равна 106 Гц. Расстояние перескока равно 0,3 нм. Оценить значение коэффициента диффузии вакансий.

**Задача 17.** Значение поверхностного потенциала на межзеренных границах ионного соединения типа  $\text{NaCl}$  равно 0,1 В. Оценить, насколько возрастет проводимость соединения при переходе от монокристалла к поликристаллическому образцу с размером зерен 100 нм.

**Задача 18.** Диоксид титана является электронным полупроводником. Оценить как изменится проводимость  $\text{TiO}_2$  при изменении парциального давления кислорода от 1 атм до 10<sup>-10</sup> атм, написать уравнение квазихимического равновесия.

**Задача 19.** Оксид ванадия  $\text{V}_2\text{O}_3$  является дырочным полупроводником. Оценить как изменится проводимость  $\text{V}_2\text{O}_3$  при изменении парциального давления кислорода от 1 атм до 10<sup>-10</sup> атм, написать уравнения квазихимического равновесия.

**Задача 20.** Значения ионной и электронной проводимости оксида при 1000 К равны 10<sup>-3</sup> и 10<sup>-2</sup> См/см, соответственно. Оценить значение потока кислорода, протекающего через мембрану толщиной 1 мм, изготовленную из этого оксида.

**Задача 21.** Рассчитать значения проводимости композита типа проводник-диэлектрик при значениях концентрации диэлектрической фазы, равных 30 и 70%. Значения проводимости равны 1 См/см и 10<sup>-6</sup> См/см, соответственно. При расчете использовать

- уравнение Максвелла-Гарнета (для сферических частиц)
- уравнение Брюггеманна (для асимметричной среды)
- перколяционное уравнение с порогом перколяции, равным 0,85 ( $t = 1,5$ ;  $s = 0,7$ )
- уравнение смешения при  $\alpha_1 = 2/3$ ;  $\alpha_2 = -1/3$

**Задача 22.** Оценить изменение проводимости композиционного твердого электролита МХ-А при уменьшении размера частиц гетерогенного допанта А на порядок, если проводимость поверхностной фазы на три порядка превышает объемную проводимость соли, а коэффициенты  $\square_1$  и  $\square_2$  в уравнении смешения составляют 2/3 и -1/3.

**Задача 23.** Сравнить значения удельных значений накопленной энергии в расчете на единицу веса металла для литий-воздушного и алюминий-воздушного аккумуляторов.

**Задача 24.** Значение удельной емкости литиевого аккумулятора с катодом из  $\text{LiCoO}_2$  равно 140 мАч/г. Рассчитать предельный химический состав катода, достигаемый при зарядке аккумулятора.

**Задача 25.** Рассчитать предельное значение удельной емкости двойного слоя монослойного графена (в расчете на единицу площади и единицу веса), если расстояние С-С в графене равно 0,142 нм.

## Перечень вопросов для контрольной работы

1. Значения удельной поверхностной энергии кристаллического и жидкого олова равны 1.1 и 0.9 Дж/м<sup>2</sup>, соответственно. Пользуясь справочными данными, оценить температуру плавления серебра с размером частиц 10 нм.
2. Определить растворимость карбоната бария с размером частиц 10 нм, если стандартное значение произведения растворимости равно  $PP = 5 \cdot 10^{-9}$ , а значение удельной поверхностной энергии равно 6.5 Дж/м<sup>2</sup>.
3. Оценить размер критического зародыша серебра, если значение удельной поверхностной энергии равно 1.1 Дж/м<sup>2</sup>, а плотность равна 10,5 г/см<sup>3</sup>.
4. Из справочных термодинамических данных оценить ЭДС твердотельного гальванического элемента Pb/PbI<sub>2</sub>/AgI/Ag.
5. Рассчитать стандартное значение энергии Гиббса образования  $\Delta G_f^0$  хлорида свинца, если значения ЭДС гальванических элементов Pb/(водный раствор 1M PbSO<sub>4</sub> + 1M ZnSO<sub>4</sub>) / Zn и Zn / (водный раствор 1M ZnSO<sub>4</sub>) / Pt, Cl<sub>2</sub> (0.01 атм) равны 0.652 и 1.576 В, соответственно.
6. Определить значение электропроводности раствора, находящегося в равновесии с осадком хлорида серебра. Значение произведения растворимости AgCl равно  $PP = 1.8 \cdot 10^{-10}$ ; значения предельной ионной электропроводности ионов серебра и хлора  $\lambda^0$  равны 61,90 и 78,14 Ом<sup>-1</sup>см<sup>2</sup>/моль, соответственно.
7. Рассчитать значение концентрации точечных дефектов Шоттки в оксиде алюминия при 1000 К, если энергия образования дефектов равна 3 эВ. Энтропийным вкладом пренебречь.
8. Частота ионных перескоков в ионном соединении при 1000 К равна 10<sup>6</sup> Гц. Расстояние перескока равно 0.3 нм. Оценить значение коэффициента диффузии вакансий.
9. Диоксид титана является электронным полупроводником. Оценить как изменится проводимость TiO<sub>2</sub> при изменении парциального давления кислорода от 1 атм до 10<sup>-10</sup> атм, написать уравнение квазихимического равновесия.
10. Значения ионной и электронной проводимости оксида при 1000 К равны 10<sup>-3</sup> и 10<sup>-2</sup> См/см, соответственно. Оценить значение потока кислорода, протекающего через мембрану толщиной 1 мм, изготовленную из этого оксида.
11. Рассчитать значения проводимости композита типа проводник-диэлектрик при значениях концентрации диэлектрической фазы, равных 30 и 70%. Значения проводимости равны 1 См/см и 10<sup>-6</sup> См/см, соответственно. При расчете использовать
  - уравнение Максвелла-Гарнета (для сферических частиц)
  - уравнение Брюггеманна (для асимметричной среды)
  - перколяционное уравнение с порогом перколяции, равным 0.85 ( $t = 1.5$ ;  $s = 0.7$ )
  - уравнение смешения при  $\alpha_1 = 2/3$ ;  $\alpha_2 = -1/3$
 Рассчитать предельное значение удельной емкости двойного слоя монослойного графена (в расчете на единицу площади и единицу веса), если расстояние С-С в графене равно 0.142 нм,

### Вариант теста №1 для экзамена

1. Табличные значения температуры и энтальпии плавления олова равны 232 °С и 12 кДж/моль. Если значения удельной поверхностной энергии кристаллического и жидкого олова равны 1.1 и 0.9 Дж/м<sup>2</sup>, соответствующие значения плотности равны 10,5 и 9,3 г/см<sup>3</sup>, то температура плавления наночастиц олова размером 10 нм будет равна:
  - 252 К
  - 231 °С
  - 217 С
  - 195 °С
2. Растворимость частиц карбоната бария размером 10 нм (стандартное значение произведения растворимости  $PP = 5 \cdot 10^{-9}$ ; а значение удельной поверхностной энергии 0,65 Дж/м<sup>2</sup>) равно:
  - 1·10<sup>-5</sup>

- $2 \cdot 10^{-6}$
  - $6 \cdot 10^{-7}$
  - $4 \cdot 10^{-8}$
3. Экспериментально наблюдаемое значение температуры плавления меди снизилось с 1358 до 1258 К. Значения удельной поверхностной энергии кристаллического и жидкого металла равны 2 и 1.8 Дж/м<sup>2</sup>, соответственно. Энтальпия плавления металла равна 13 кДж/моль, молекулярная масса равна 64 г/моль, плотности твердой и жидкой фаз считать равными 8.9 г/см<sup>3</sup>. Размер частиц металла равен:
- 2 нм
  - 240 нм
  - 12 нм
  - 24 нм
4. Величины стандартных электродных потенциалов Pb<sup>2+</sup>/Pb и Ni<sup>2+</sup>/Ni равны 0,126 и -0,230 В, соответственно. Значение ЭДС гальванического элемента Pb / (водный раствор 1М PbCl<sub>2</sub>+ 0.001М NiCl<sub>2</sub>) /Ni ( ), равно
- 0.356 В
  - 0.104 В
  - 0.268 В
  - 0.104 В
5. ЭДС топливного элемента H<sub>2</sub>,Pt /твердый электролит / O<sub>2</sub>,Pt при увеличении температуры:
- увеличится
  - уменьшится
  - не изменится
6. В гальваническом элементе катодом является
- электрод с наименьшим значением электродного потенциала
  - электрод с наиболее высоким значением стандартного электродного потенциала
  - электрод с меньшим значением стандартного электродного потенциала
  - электрод с меньшим значением электродного потенциала
7. При уменьшении частиц платины ток обмена электрохимической реакции, протекающей на аноде H<sub>2</sub>,Pt топливного элемента
- увеличится
  - уменьшится
  - не изменится
8. Значение произведения растворимости AgCl равно ПР =  $1.8 \cdot 10^{-10}$ ; значения предельной ионной электропроводности ионов серебра и хлора  $\lambda^0$  равны 61,90 и 78,14 Ом<sup>-1</sup> см<sup>2</sup>/моль, соответственно). Удельная электропроводность раствора, находящегося в равновесии с осадком хлорида серебра, равна:
- $2 \cdot 10^{-4}$  См/см
  - $1 \cdot 10^{-5}$  См/см
  - $2 \cdot 10^{-6}$  См/см
  - $5 \cdot 10^{-7}$  См/см
9. Частота ионных перескоков при 1000 К в ионном соединении при вакансионном механизме переноса равна 10<sup>6</sup> Гц. Расстояние перескока равно 0.3 нм. Значение коэффициента диффузии вакансий равно:
- $2 \cdot 10^{-14}$  см<sup>2</sup>/с
  - $4 \cdot 10^{-12}$  см<sup>2</sup>/с
  - $1 \cdot 10^{-10}$  см<sup>2</sup>/с
  - $3 \cdot 10^{-8}$  см<sup>2</sup>/с

10. При переходе от монокристалла к поликристаллическому образцу с размерами зерен 100 нм проводимость ионной соли при 300 К возрастает на порядок. При толщине поверхностного слоя 10 нм значение поверхностного потенциала равно:
- 0.1 мВ
  - 3 мВ
  - 20 мВ
  - 120 мВ
11. Диоксид титана является электронным полупроводником. При изменении парциального давления кислорода от 1 атм до  $10^{-10}$  атм проводимость  $\text{TiO}_2$ :
- не изменится
  - увеличится
  - уменьшится
12. Оксид ванадия  $\text{V}_2\text{O}_3$  является дырочным полупроводником. При изменении парциального давления кислорода от 1 атм до  $10^{-10}$  атм проводимость этого соединения
- не изменится
  - увеличится
  - уменьшится
13. Значения ионной и электронной проводимости оксида при 1000 К равны  $10^{-5}$  и  $10^{-3}$  См/см, соответственно. Общая концентрация ионов равна  $10^{21}$  см $^{-3}$ . Если перенос лимитируется диффузией, то при градиенте концентрации кислорода 10 моль/см $^4$  оценочное значение потока кислорода, протекающего через мембрану, изготовленную из этого оксида, равно
- $1 \cdot 10^{-7}$  моль/(см $^2 \cdot$ с)
  - $4 \cdot 10^{-6}$  моль/(см $^2 \cdot$ с)
  - $3 \cdot 10^{-5}$  моль/(см $^2 \cdot$ с)
  - $2 \cdot 10^{-3}$  моль/(см $^2 \cdot$ с)
14. Указать значение проводимости композита, образованного фазами проводника с проводимостью  $\sigma_1 = 1$  См/см и диэлектрика  $\sigma_2 = 0$  при объемной концентрации диэлектрической фазы, равной 50 %. При расчете использовать уравнение смешения при  $\alpha_1 = 2/3$ ;  $\alpha_2 = -1/3$
- $2,0 \cdot 10^{-4}$  См/см
  - $3,2 \cdot 10^{-3}$  См/см
  - $1,5 \cdot 10^{-2}$  См/см
  - $2,1 \cdot 10^{-1}$  См/см
15. Проводимость композиционного твердого электролита МХ-А возрастает в сравнении с чистой ионной солью МХ, если
- соль МХ обладает высокой проводимостью
  - концентрация компонента А высока
  - на поверхности раздела фаз образуется слой с высокой проводимостью
  - соль МХ входит в поры соединения А
16. Метод импедансной спектроскопии позволяет
- провести раздельное определение вкладов объемной проводимости и сопротивления границ зерен
  - определить вклад электронной проводимости
  - определить числа переноса
  - исследовать эффект Холла
17. Методом гальваностатического заряда-разряда можно определить
- удельную зарядную емкость
  - удельную разрядную емкость

- величину удельной накопленной энергии
  - все указанные выше параметры
18. Указать тип аккумулятора, обладающего наиболее высокими значениями накопленной энергии в расчете на единицу веса металла
- литий-воздушный
  - свинцовый
  - литий-марганцевый
  - алюминий-воздушный
19. Значение удельной емкости литиевого аккумулятора с катодом из  $\text{LiCoO}_2$  равно 136 мА ч/г. Предельный химический состав катода, достигаемый при зарядке аккумулятора можно записать в виде:
- $\text{Li}_{0,9}\text{CoO}_2$
  - $\text{Li}_{1,2}\text{CoO}_2$
  - $\text{CoO}_2$
  - $\text{Li}_{0,5}\text{CoO}_2$
20. При увеличении удельной поверхности материала значение удельной емкости двойного слоя
- не изменится
  - увеличится
  - уменьшится

**Форма экзаменационного билета представлена на рисунке**

<p><b>МИНОБРНАУКИ РОССИИ</b></p> <p><i>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)</i></p> <p><b>Физический факультет</b></p>
<p><b>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № _____</b></p> <p>1. ....</p> <p>2. ....</p> <p>3. ....</p> <p>Составитель _____ /Ф.И.О. преподавателя/ (подпись)</p> <p>«___» _____ 20 г.</p>

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы дисциплины  
«Нанокompозитные материалы для электрохимической энергетики»  
по направлению подготовки 03.04.02 Физика  
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного