



«11» сентября 2015 г.
Декан факультета фундаментальной
физико-химической инженерии
МГУ имени М.В.Ломоносова
академик С.М. Алдошин

Рабочая программа дисциплины (модуля)

- 1. Наименование дисциплины** - Ионика твердого тела
- 2. Уровень высшего образования** - подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре.
- 3. Направление подготовки, направленность** – 04.06.01 «Химические науки». Физическая химия.
- 4. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП:** относится к вариативной части ОПОП, является дисциплиной по выбору на 2 году обучения (3-4 семестр).
- 5. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников) в соответствии с Картами компетенций выпускников программ аспирантуры МГУ**

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
ПК-2: способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области исследования структуры и свойств кристаллических веществ ионной природы.	ЗНАТЬ: Основные механизмы возникновения дефектов в ионных кристаллах. Влиянии дефектности структуры на проводимость, типах разупорядоченности в ионных кристаллах. Механизмах ионного переноса. Основные типы катионных и анионных проводников и влиянии типа носителя заряда на проводимость. Основные методы исследования ионного переноса в твердых телах. Сферы применения ионпроводящих соединений. Шифр: 31 (ПК-2)
	УМЕТЬ: решать квазихимические уравнения для основных типов ионных проводников, определять значение и тип ионной проводимости по экспериментальным данным, полученным разными методами.

	Шифр: У1 (ПК-2)
	УМЕТЬ: подбирать необходимый метод исследования проводимости кристаллов Шифр: У2 (ПК-2)

6. *Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:*

Объем дисциплины составляет 6 зачетных единицы, всего 216 часов, из которых 108 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (60 часов занятия лекционного типа, 48 часа занятия семинарского типа, 12 часов мероприятия промежуточной аттестации), 108 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

7. *Входные требования для освоения дисциплины предварительные условия (если есть):* необходимо освоить программу специалитета или магистратуры по данному направлению.

8. *Образовательные технологии (отметить если применяется электронное обучение и дистанционные технологии):* отсутствуют.

9. *Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических или астрономических часов и виды учебных занятий*

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости коллоквиумы, практические контрольные занятия и др)	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п..	Всего
Основы ионники твердого тела. - дефекты в кристаллах	66	21	15	-	-	-	36	15	15	30

- дефекты по Шотки и Френелю										
Основные типы ионных проводников. - твердые электролиты. - литиевые аморфные проводники.	72	18	18	-	-	-	36	18	18	36
Методы исследования и применение ионных проводников - импедансная спектроскопия - синтез и исследование проводимости ионного проводника	66	21	15	-	-	-	36	15	15	30
Аттестация (зачет, экзамен)	12	-	-					12		
Итого	216	60	48					108		

10. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю).

1. Иванов-Шниц А.К., Мурин И.В. Ионика твердого тела. В 2-х томах. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та. Т. 1, 2000, 616 с.; Т. 2., 2010, 1000 с.
2. А.Вест – «Химия твердого тела», т.2, М.:Мир, 1988, 334 с.
3. P. Knauth, H.L. Tuller – “Solid-State Ionics: Roots, Status, and Future Prospects”, J. Am. Ceram. Soc., 85 [7] 1654–80 (2002).
4. Чеботин В.Н., Перфильев М.В. Электрохимия твердых электролитов. – М.: Химия, 1978. 312 с.
5. Третьяков Ю.Д. Химия нестехиометрических окислов. – М: Изд-во Московского университета, 1974. 364 с.
6. Ю.Я. Гуревич – «Твердые электролиты», М.: «Наука», 1986, 176 с.
7. Физика электролитов. Процессы переноса в твердых электролитах и электродах. Под ред. Дж. Хладика, М.: Мир, 1978, 557с.
8. Укше Е.А., Букун Н.Г. Твердые электролиты, М.:Наука, 1977.
9. Чеботин В.Н. Физическая химия твердого тела, М.: Химия, 1982
10. Физика суперионных проводников. Под ред. М.Б. Саламона, Рига: Зинатне, 1982.
11. Стойнов З.Б., Графов Б.М., Савова-Стойнова Б., Елкин В.В. Электрохимический импеданс. М.: Наука, 1991.

Вопросы к коллоквиумам

Раздел 1, коллоквиум № 1 «Основы ионники твердого тела».

Что такое ионная проводимость. Ионные кристаллы. Твердые электролиты. Разупорядоченность ионных кристаллов собственная и примесная. Механизм ионного переноса в твердых телах. Твердые электролиты как униполярные ионные проводники. Классификация твердых электролитов. Особенности кристаллической структуры ионных проводников. Термодинамика суперионного состояния, фазовые переходы. Процессы на границах раздела ионный проводник - электронный проводник. Перенос заряда через границу. Образование и строение двойного слоя. Особенности границ электролита с металлами и смешанными проводниками. Блокирующие и обратимые электроды.

Раздел 2, коллоквиум № 2 «Основные типы ионных проводников».

Твердые электролиты с проводимостью по ионам кислорода. Диоксид циркония и его фазообразование. Стабилизация кубической фазы. Проводимость в диоксиде циркония. Кислородпроводящие оксиды. Анионпроводящие твердые электролиты (галогениды, сульфиды и нитриды). Допирование как метод регулирования ионной проводимости.

Катионпроводящие твердые электролиты. Проводимость и структура высокотемпературной фазы AgI , Ag_4RbI_5 и сходные структуры. Системы на основе галогенидов меди и серебра.

Особенности катионной проводимости в силикатных, алюминатных и фосфатных системах. Ионные проводники с двух и трех мерной проводимостью. Влияние размера катиона на его подвижность. Влияние структурных факторов на ионную проводимость. "Окно" проводимости. Электролиты с проводимостью по двухзарядным катионам. Особенности поведения некристаллических твердых электролитов. Проводимость в стеклах и полимерных системах. Литиевые и протонные аморфные проводники.

Проводники со смешанной электронно-ионной проводимостью. Особенности их строения и проводимости. Перовскитоподобные структуры с высокой кислородной подвижностью.

Композитные твердые электролиты. Влияние инертной матрицы, межфазные границы и межфазные взаимодействия. Уравнения эффективной среды. Описание в терминах теории протекания.

Раздел 3, коллоквиум № 3 «Методы исследования и применение ионных проводников».

Методы изучения ионной проводимости. Определение ионной и электронной составляющих электролитов на переменном и постоянном токах. Двухзондовые и четырехзондовые методы измерений. Влияние электронного переноса, сопряженная диффузия. Метод Хебба-Вагнера. Уравнение Френкеля. Числа переноса ионов.

Импедансометрия: физические основы метода, области и ограничения использования. Вольтамперометрия и ее разновидности.

Применение твердых электролитов: электродные процессы с участием газов и растворимых веществ; химические сенсоры; источники тока на основе твердых электролитов.

Календарно-тематический план

Контактные аудиторные часы

Дата	Тема для изучения	Форма проведения	Кол-во часов
------	-------------------	------------------	--------------

		занятий	
02.10.2015 09.10.2015 16.10.2015 23.10.2015	Механизмы возникновения дефектов в ионных кристаллах. Дефекты по Шотки и Френкелю.	лекция семинар	6 6
30.10.2015 06.11.2015 13.11.2015	Процессы на границе электрод электролит. Особенности границ с различными материалами, типы границ.	лекция семинар	6 3
20.11.2015 27.11.2015 04.12.2015	Твердые электролиты с анионной проводимостью. Фазы на основе диоксида циркония. Квазихимические уравнения.	лекция семинар	6 3
11.12.2015 18.12.2015 25.12.2015 22.01.2016	Катион проводящие твердые электролиты. Особенности структуры и связь с проводимостью.	лекция семинар	6 6
29.01.2016 05.02.2016 12.02.2016 19.02.2016	Проводимость полимерных и стеклообразных систем. Литиевые и протонные аморфные проводники.	лекция семинар	6 6
04.03.2016 11.03.2016 18.03.2016 25.03.2016	Композитные твердые электролиты. Уравнения эффективной среды, теория протекания.	лекция семинар	6 6
01.04.2016 08.04.2016 22.04.2016 15.04.2016	Методы исследования ионных проводников и процессов переноса заряда.	лекция семинар	6 6
29.04.2016 06.05.2016 13.05.2016	Применение импедансной спектроскопии для исследования ионпроводящих соединений	лекция семинар	6 3
13.05.2016 20.05.2016 27.05.2016 03.06.2016	Синтез и исследование проводимости ионного проводника (электролит по выбору).	лекция семинар	6 6
10.06.2016 17.06.2016	Получение и исследование модельного электрохимического устройства (по выбору)	лекция семинар	6 3
		итого	108

Самостоятельная работа

Сроки выполнения	Тема для изучения	Форма выполнения	Кол-во часов
06.11.2015	Вопросы для подготовки к коллоквиуму № 1	Коллоквиум	30
12.02.2016	Вопросы для подготовки к коллоквиуму № 2	Коллоквиум	36
17.06.2016	Вопросы для подготовки к коллоквиуму № 3	Коллоквиум	42
		итого	108

Итоговое занятие

Дата	Тема для изучения	Формы проведения занятий	Кол-во часов
01.02.2016	Зачетное занятие за 3й семестр	Зачет	4
29.06.2016	Зачетное занятие за 4й семестр	Экзамен	4
	Итого		8

11. Ресурсное обеспечение.

1. Иванов-Шниц А.К., Мурин И.В. Ионика твердого тела. В 2-х томах. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та. Т. 1, 2000, 616 с.; Т. 2., 2010, 1000 с.
2. А.Вест – «Химия твердого тела», т.2, М.:Мир, 1988, 334 с.
3. P. Knauth, H.L. Tuller – “Solid-State Ionics: Roots, Status, and Future Prospects”, J. Am. Ceram. Soc., 85 [7] 1654–80 (2002).
4. Чеботин В.Н., Перфильев М.В. Электрохимия твердых электролитов. – М.: Химия, 1978. 312 с.
5. Третьяков Ю.Д. Химия нестехиометрических окислов. – М: Изд-во Московского университета, 1974. 364 с.
6. Ю.Я. Гуревич – «Твердые электролиты», М.: «Наука», 1986, 176 с.
7. Физика электролитов. Процессы переноса в твердых электролитах и электродах. Под ред. Дж. Хладика, М.: Мир, 1978, 557с.
8. Укше Е.А., Букун Н.Г. Твердые электролиты, М.:Наука, 1977.
9. Чеботин В.Н. Физическая химия твердого тела, М.: Химия, 1982
10. Физика суперионных проводников. Под ред. М.Б. Саламона, Рига: Зинатне, 1982.
11. Стойнов З.Б., Графов Б.М., Савова-Стойнова Б., Елкин В.В. Электрохимический импеданс. М.: Наука, 1991.

12. Язык преподавания: Русский

13. Преподаватель (преподаватели): д.х.н Добровольский Юрий Анатольевич

**Оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине «Ионика
твёрдого тела» на основе Карт компетенций выпускников программ
аспирантуры МГУ**

РЕЗУЛ ЬТАТ ОБУЧ ЕНИЯ по дисцип лине (модул ю)	КРИТЕРИИ и ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине из соответствующих Карт компетенций					ОЦЕНОЧ НЫЕ СРЕДСТ ВА
	<i>1</i> <i>Неудовлетвор ительно</i>	<i>2</i> <i>Неудовлетвор ительно</i>	<i>3</i> <i>Удовлетвори тельно</i>	<i>4</i> <i>Хорошо</i>	<i>5</i> <i>Отлично</i>	
УМЕТЬ: решать квазихимические уравнения для основных типов ионных проводников, определять значение и тип ионной проводимости по экспериментальным данным, полученным разными методами. Шифр: У1 (ПК-2)	Отсутствие навыков решения квазихимических уравнений для основных типов ионных проводников, определения значения и типа ионной проводимости по экспериментальным данным	Фрагментарные навыки решения квазихимических уравнений для основных типов ионных проводников, определения значения и типа ионной проводимости по экспериментальным данным	В целом удовлетворительные, но не систематизированные навыки решения квазихимических уравнений для основных типов ионных проводников, определения значения и типа ионной проводимости по экспериментальным данным	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков решения квазихимических уравнений для основных типов ионных проводников, определения значения и типа ионной проводимости по экспериментальным данным	Успешное и систематическое применение навыков решения квазихимических уравнений для основных типов ионных проводников, определения значения и типа ионной проводимости по экспериментальным данным	Письменные вопросы
УМЕТЬ: подбирать необходимый метод исследования проводимости и кристаллов Шифр: У2 (ПК-2)	Отсутствие умений подбирать необходимый метод исследования проводимости кристаллов	Фрагментарные умения подбирать необходимый метод исследования проводимости кристаллов	В целом удовлетворительные, но не систематизированные умения подбирать необходимый метод исследования проводимости кристаллов	В целом удовлетворительные, но содержащее отдельные пробелы умения подбирать необходимый метод исследования проводимости и кристаллов	Сформированные умения подбирать необходимый метод исследования проводимости и кристаллов	Письменные вопросы

ЗНАТЬ:				Сформирован ные, но	Сформирова нные	Письменные вопросы
Основные механизмы возникновения дефектов в ионных кристаллах. Влиянии дефектности структуры на проводимость, типах разупорядоченности в ионных кристаллах. Механизмах ионного переноса. Основные типы катионных и анионных проводников и влиянии типа носителя заряда на проводимость. Основные методы исследования ионного переноса в твердых телах. Сферы применения ионпроводящих соединений.	Отсутствие знаний об основных механизмах возникновения дефектов в ионных кристаллах, влиянии дефектности структуры на проводимость, типах разупорядоченности в ионных кристаллах, механизмах ионного переноса, основных типах катионных и анионных проводников и влиянии типа носителя заряда на проводимость, основных методах исследования ионного переноса в твердых телах, сферах применения ионпроводящих соединений.	Фрагментарные представления об основных механизмах возникновения дефектов в ионных кристаллах, влиянии дефектности структуры на проводимость, типах разупорядоченности в ионных кристаллах, механизмах ионного переноса, основных типах катионных и анионных проводников и влиянии типа носителя заряда на проводимость, основных методах исследования ионного переноса в твердых телах, сферах применения ионпроводящих соединений.	Неполные представления об основных механизмах возникновения дефектов в ионных кристаллах, влиянии дефектности структуры на проводимость, типах разупорядоченности в ионных кристаллах, механизмах ионного переноса, основных типах катионных и анионных проводников и влиянии типа носителя заряда на проводимость, основных методах исследования ионного переноса в твердых телах, сферах применения ионпроводящих соединений.	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представления об основных механизмах возникновения дефектов в ионных кристаллах, влиянии дефектности структуры на проводимость, типах разупорядоченности в ионных кристаллах, механизмах ионного переноса, основных типах катионных и анионных проводников и влиянии типа носителя заряда на проводимость, основных методах исследования ионного переноса в твердых телах, сферах применения ионпроводящих соединений.	Сформированные систематические представления об основных механизмах возникновения дефектов в ионных кристаллах, влиянии дефектности структуры на проводимость, типах разупорядоченности в ионных кристаллах, механизмах ионного переноса, основных типах катионных и анионных проводников и влиянии типа носителя заряда на проводимость, основных методах исследования ионного переноса в твердых телах, сферах применения ионпроводящих соединений.	
Шифр: 31 (ПК-2)						

Фонды оценочных средств

Примерные вопросы

1. История открытия ионной проводимости. Ионная проводимость. Ионные кристаллы. Твердые электролиты.
2. Разупорядоченность ионных кристаллов собственная и примесная. Механизм ионного переноса в твердых телах. Твердые электролиты как униполярные ионные проводники. Классификация твердых электролитов.
3. Твердые электролиты с проводимостью по ионам кислорода. Диоксид циркония и его фазообразование. Стабилизация кубической фазы. Проводимость в диоксиде циркония. Кислородпроводящие оксиды. Анионпроводящие твердые электролиты. Галогениды, сульфиды и нитриды: кристаллохимические особенности, механизм ионного переноса. Типичные представители. Допирование как метод регулирования ионной проводимости.
4. Катионпроводящие твердые электролиты. Проводимость и структура высокотемпературной фазы AgI , Ag_2RbI_3 и сходные структуры. Системы на основе галогенидов меди и серебра.
5. Особенности катионной проводимости в силикатных, алюминатных и фосфатных системах. Бета-глинозем как представитель двумерных ионных проводников: структура, жесткая подрешетка и решетка подвижных ионов, каналы проводимости, замещение. Влияние размера катиона на его подвижность в шпинельных структурах. Влияние параметров структуры на ионную проводимость.
6. Твердые электролиты с трехмерной проводимостью по ионам щелочных металлов. Насикон, лисикон, фоскан, натриевые силикаты редких земель. "Окно" проводимости. Влияние структурных факторов на ионную проводимость. Электролиты с проводимостью по двухзарядным катионам.
7. Особенности поведения некристаллических твердых электролитов. Проводимость в стеклах и полимерных системах. Литиевые и протонные аморфные проводники.
8. Особенности кристаллической структуры ионных проводников. Термодинамика суперионного состояния, фазовые переходы.
9. Проводники со смешанной электронно-ионной проводимостью. Особенности их строения и проводимости. Перовскитоподобные структуры с высокой кислородной подвижностью.
10. Методы изучения ионной проводимости. Определение ионной и электронной составляющих электролитов на переменном и постоянном токах. Двухзондовые и четырехзондовые методы измерений. Влияние электронного переноса, сопряженная диффузия. Метод Хебба-Вагнера. Уравнение Френкеля. Числа переноса ионов.
11. Процессы на границах раздела ионный проводник - электронный проводник. Перенос заряда через границу. Образование и строение двойного слоя. Особенности границ электролита с металлами и смешанными проводниками. Блокирующие и обратимые электроды.
12. Импедансометрия: физические основы метода, области и ограничения использования. Вольтамперометрия и ее разновидности.
13. Композитные твердые электролиты. Влияние инертной матрицы, межфазные границы и межфазные взаимодействия. Уравнения эффективной среды. Описание в терминах теории протекания.
14. Применение твердых электролитов: электродные процессы с участием газов и растворимых веществ; химические сенсоры; источники тока на основе твердых электролитов.