

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
СТЕРЛИТАМАКСКИЙ ФИЛИАЛ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**УТВЕРЖДАЮ**  
Зам. директора по научной работе  
и инновациям  
Кризский В.Н.  
«28» 08 2013 г.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС**  
**ДИСЦИПЛИНЫ ПО ВЫБОРУ АСПИРАНТА (ОД.А.06.1)**

**Физика суперионных проводников**

*наименование дисциплины по учебному плану подготовки аспиранта*

**модуль основной образовательной программы послевузовского профессионального  
образования подготовки аспирантов (ООП ППО)  
по специальности научных работников**

01.04.07  
*шифр*

Физика конденсированного состояния  
*наименование научной специальности*


УМК одобрен на заседании  
кафедры Общей физики  
Протокол № 1 от 21.08 2013 г.

Зав.кафедрой

  
подпись

Биккулова Н.Н., д.ф.-м.н., профессор  
*Ф.И.О., ученая степень, звание*

Разработчик программы

  
подпись

Биккулова Н.Н., д.ф.-м.н., профессор  
*Ф.И.О., ученая степень, звание*

Стерлитамак – 2013 г.

## **Оглавление**

1. Общие положения .....	
2. Цели изучения дисциплины .....	
3. Результате освоения дисциплины .....	
4. Структура и содержание дисциплины .....	
4.1. Объем дисциплины и количество учебных часов	
5. Содержание дисциплины .....	
5.1 Содержание лекционных занятий .....	
5.2 Практические занятия .....	
5.3 Самостоятельная работа аспиранта.....	
6. Перечень контрольных мероприятий и вопросы к экзаменам кандидатского минимума .....	
7. Образовательные технологии .....	
8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины .....	
8.1 Основная литература (год издания не должен быть более 5 лет): .....	
8.2 Дополнительная литература .....	
8.3 Программное обеспечение и Интернет-ресурсы.....	
9. Материально-техническое обеспечение .....	

## **1. Общие положения**

1.1 Настоящий учебно-методический комплекс обязательной дисциплины по выбору аспиранта Физика суперионных проводников – модуль основной образовательной программы послевузовского профессионального образования (ООП ППО) разработан на основании законодательства Российской Федерации в системе послевузовского профессионального образования, в том числе: Федерального закона РФ от 22.08.1996 № 125-ФЗ «О высшем и послевузовском профессиональном образовании», Положения о подготовке научно-педагогических и научных кадров в системе послевузовского профессионального образования в Российской Федерации, утвержденного приказом Министерства общего и профессионального образования РФ от 27.03.1998 № 814 (в действующей редакции); составлена в соответствии с федеральными государственными требованиями к разработке, на основании Приказа Минобрнауки России №1365 от 16.03.2011г. «Об утверждении федеральных государственных требований к структуре основной профессиональной образовательной программы послевузовского профессионального образования (аспирантура)» и инструктивного письма Минобрнауки России от 22.06.2011 г. № ИБ-733/12.

## **2. Цели изучения дисциплины**

Целью изучения дисциплины Физика суперионных проводников является ознакомление аспирантов с применениями общих принципов и методов экспериментальной и теоретической физики в физике суперионных проводников, применением суперионных проводников в науке и современном наукоемком производстве.

Задачи дисциплины заключаются в изучении:

- механизмов образования собственных дефектов в ионных кристаллах, переход ионных проводников в суперионное состояние;
- теории транспорта точечных дефектов в электрическом поле;

- применения суперионных проводников в науке, технике и современном наукоемком производстве (наноионике);

### **3. Результаты освоения дисциплины**

#### **Аспирант или соискатель должен:**

##### **- знать:**

строение и свойства ионных проводников, механизмы образования собственных дефектов в ионных кристаллах, механизмы фазового перехода ионного кристалла в суперионное состояние, механизмы транспорта точечных дефектов в электрическом поле, методы измерения ионной проводимости, область применения суперионных проводников.

##### **- уметь:**

ориентироваться в экспериментах по ионной и суперионной проводимостям и извлекать физическую информацию путем анализа экспериментальных данных, интерпретировать экспериментальные данные на основе физических свойств в исследуемых объектах, применять компьютерную технику для моделирования физических свойств объектов, выявлять физические свойства объектов, перспективных для практического применения.

##### **демонстрировать:**

способность свободно владеть фундаментальными разделами физики суперионных проводников, необходимыми для решения научно-исследовательских задач

самостоятельно изучать и понимать специальную (отраслевую) научную и методическую литературу, связанную с проблемами физики суперионных проводников.

#### 4. Структура и содержание дисциплины (модуля) Физика суперионных проводников

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы 72 часа.

##### 4.1. Объем дисциплины и количество учебных часов

Вид учебной работы	Кол-во зачетных единиц*/уч.часов
Аудиторные занятия	1/36
Лекции (минимальный объем теоретических знаний)	1/36
Семинар	–
Практические занятия	–
Другие виды учебной работы	–
Внеаудиторные занятия:	
Самостоятельная работа аспиранта	1/36
ИТОГО	2/72
Вид итогового контроля	Составляющая экзамена кандидатского минимума

#### 5. Содержание дисциплины

##### 5.1 Содержание лекционных занятий

№ п/п	Содержание	Кол-во уч. часов
1	Термодинамика образования дефектов Френкеля и Шоттки в ионном кристалле, энергия Гиббса, энтальпия, конфигурационная энтропия, колебательная энтропия дефектов, влияние поверхностного потенциала на концентрацию дефектов, теория Дебая-Хюккеля.	4
2	Образование ассоциатов собственных дефектов, образование ассоциатов с примесными дефектами, изменение колебательной энтропии, константа равновесия, влияние ассоциатов на концентрацию собственных дефектов, влияние взаимодействия Дебая-Хюккеля на концентрацию дефектов, коэффициент активности.	4
3	Статистический механизм переноса дефектов, подвижность дефектов в слабых и сильных электрических полях, стохастический подход к теории ионного переноса, уравнение Фоккера-Планка, поляронный механизм ионного	4

	транспорта в суперионных материалах, влияние взаимодействия Дебая-Хюккеля на подвижность дефектов, коэффициент диффузии дефектов.	
4	Влияние примесных катионов и анионов на ионную проводимость, изотермы относительной проводимости, влияние размеров микрокристаллов на ионную проводимость и поверхностный потенциал, проводимость ионных кристаллов на переменном напряжении.	4
5	Инжекционные контакты, вольт-амперная характеристика ионного проводника с инжекционными контактами.	4
6	Фазовые переходы в суперионное состояние, обусловленные разупорядочением, скачек ионной проводимости при фазовом переходе, полиморфные превращения, сопровождающиеся разупорядочением, структурное разупорядочение, индуцированное электрическим полем, доменное состояние суперионного проводника, влияние давления на фазовые переходы и проводимость суперионных проводников, Изменение теплоемкости суперионных проводников при фазовом переходе.	6
7	Структура ионных соединений, щелочно-галогенидные кристаллы, галогениды серебра, халькогениды серебра, сложные соединения серебра, соединения меди и лития, сульфаты, оксиды, разупорядоченные по Френкелю суперионные соединения, разупорядоченные по Шоттки суперионные соединения, композиционные суперионные соединения.	6
8	Топливные элементы, приборы для хранения, преобразования энергии и информации, ионика и наноионика: гетерогенные конденсаторы, дискретные интеграторы, инжекционные интеграторы и элементы памяти, инжекционные ключи, оптоионные элементы.	4
Всего:		36

### *5.2. Самостоятельная работа аспиранта*

№ п/п	Виды самостоятельной работы	Кол-во уч. часов
1	Повторение лекционного материала, работа в научно-исследовательской лаборатории	4
2	Повторение лекционного материала, работа в научно-исследовательской лаборатории	4
3	Повторение лекционного материала, работа в научно-исследовательской лаборатории	4
4	Повторение лекционного материала, работа в научно-	4

	исследовательской лаборатории	
5	Повторение лекционного материала, работа в научно-исследовательской лаборатории	4
6	Повторение лекционного материала, работа в научно-исследовательской лаборатории	6
7	Повторение лекционного материала, работа в научно-исследовательской лаборатории	6
8	Повторение лекционного материала, работа в научно-исследовательской лаборатории	4
Всего:		Всего: 36

## **6. Перечень контрольных мероприятий и вопросы к экзаменам кандидатского минимума**

Итоговая аттестация аспиранта включает сдачу кандидатских экзаменов и представление диссертации в Диссертационный совет. Порядок проведения кандидатских экзаменов включает в кандидатский экзамен по научной специальности дополнительные разделы, обусловленные спецификой научной специальности. Билеты кандидатского экзамена по специальной дисциплине в соответствии с темой диссертации на соискание ученой степени кандидата наук должны охватывать разделы Специальной дисциплины отрасли науки и научной специальности (ОД.А.) и Дисциплины научной специальности по выбору аспиранта (ОДН.А.).

### ***Перечень вопросов к экзаменам кандидатского минимума:***

#### ***1. Силы связи в твердых телах***

Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: ван-дер-ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь.

Химическая связь и ближний порядок. Структура вещества с ненаправленным взаимодействием. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита CaTiO<sub>3</sub>.

Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями. Структура веществ типа селена. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита.

#### ***2. Симметрия твердых тел***

Кристаллические и аморфные твердые тела. Трансляционная инвариантность. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка.

Ячейка Вигнера – Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна. Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии.

Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.

### ***3. Дефекты в твердых телах***

Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.

Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.

### ***4. Дифракция в кристаллах***

Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности.

Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.

### ***5. Колебания решетки***

Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.

### ***6. Тепловые свойства твердых тел***

Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости.

Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории.

Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.

Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания.

Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана – Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.

### ***7. Электронные свойства твердых тел***

Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термоЭДС, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде.



Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна – Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.

Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии.

Приближение сильносвязанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс.

Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов.

Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.

### ***8. Магнитные свойства твердых тел***

Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри – Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.

Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика.

Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).

Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков.

Спиновые волны, магноны.

Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.

### ***9. Оптические и магнитооптические свойства твердых тел***

Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса—Кронига.

Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований.

Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта и Керра).

Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.

### ***10. Сверхпроводимость***

Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейснера. Критическое поле и критический ток.

Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец.

Эффект Джозефсона. Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

## 7. Образовательные технологии

В процессе обучения применяются следующие образовательные технологии:

1. Сопровождение лекций показом визуального материала.
2. Использование компьютерных моделей физических процессов в конденсированных средах.

## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Учебная, учебно-методическая и иные библиотечно-информационные ресурсы обеспечивают учебный процесс и гарантирует возможность качественного освоения аспирантом образовательной программы. Кафедра располагает научно-технической литературой, научными журналами и трудами конференций.

### 8.1. Основная литература:

№ п/п	Наименование учебной литературы	Автор, место издания, издательство год	Количество экземпляров в библиотеке СФ БашГУ	Число обучающихся, воспитанников, одновременно изучающих дисциплину
1	2	3	4	5
1	Композиционные твердые электролиты	Уваров Н.Ф.. Новосибирск: Изд. СО РАН, 2008. 257 с.	1	3
	Механизмы суперионного переноса в кристаллах.	Поплавной А.С. Кемерово: ООО «ИНТ», 2009. 182 с.		

2	Ионные электронные процессы контактные явления в широкозонных полупроводниках	и	Ханефт А.В.. Томск: Издательство ТГПУ, 2008. 140 с.	1	3
3	Термодинамика кинетика образования дефектов Френкеля и Шоттки в ионных кристаллах.	и	Ханефт А.В. Кемерово: Кузбассвузиздат, 2008. 124 с.	1	3

### 8.2. Дополнительная литература

№ п/п	Наименование учебной литературы	Автор, место издания, издательство год	Количество экземпляров в библиотеке СФ БашГУ	Число обучающихся, воспитанников, одновременно изучающих дисциплину
1	2	3	4	5
1	Физика суперионных проводников	Под ред. М.Б.Саламона. - Рига: Зинатне. 1982.	1	3
2	Суперионные полупроводниковые халькогениды	В.М. Березин, Г.П. Вяткин. - Челябинск, изд-во ЮУрГУ, 2001.	1	3
3	Электрохимия твердых электролитов	Чеботин В.Н., Перфильев М.В.. - М.: Химия. 1978.	1	3
4	Твердые электролиты	Гуревич Ю.Я. - М. Наука, 1986.	1	3
5	Ионика твердого тела	Иванов – Шиц А.К., Мурин И.В. / Т.1.- Сб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та. 2000.	1	3
6	Твердые электролиты	Укше Е.А., Букун Н.Г.. М.: Наука, 1977. 175 с.		
7	Физика электролитов	Под ред. Дж. Хладика. М.: Мир, 1978. 560 с.		

### 8.3. Программное обеспечение и Интернет-ресурсы

№	Ресурс электронно-библиотечной системы	Ссылка	Реквизиты договора
1	ЭБС «eLIBRARY.RU» (сторонняя)	<a href="http://elibrary.ru/defaultx.asp/">http://elibrary.ru/defaultx.asp/</a>	Организация-владелец: ООО «РУНЭБ». Договор № SU-05-02/2013-3 от 12/03/2013
2	ЭБС «БиблиоТЕХ» (собственная)	<a href="http://bibliotech.sspa.edu.ru/Account/LogOn/">http://bibliotech.sspa.edu.ru/Account/LogOn/</a>	Организация-владелец: ООО «БиблиоТЕХ». Договор № 025 от 12.01.2011
3	ЭБС «Лань» (сторонняя)	<a href="http://e.lanbook.com/">http://e.lanbook.com/</a>	Организация-владелец: Издательство «Лань». Договор № 19/24 от 14.12.2012
4	ЭБС «Университетская библиотека online» (сторонняя)	<a href="http://www.biblioclub.ru/">http://www.biblioclub.ru/</a>	Организация-владелец: ООО «Директ-Медиа» Договор № 375 от 22.08.2012
5	ПБД РГБ (по подписке)	<a href="http://diss.rsl.ru/">http://diss.rsl.ru/</a>	Организация-владелец: ФГБУ «Российская государственная библиотека» Договор № 095/04/0960 от 01.10.2012
6	«ZNANIUM.COM» (тестовый доступ до 01.06.2013)	<a href="http://znanium.com/">http://znanium.com/</a>	Организация-владелец: «Научно-издательский центр ИНФРА-М»
7	«MYBRARY» (тестовый доступ до 21.05.2013)	<a href="http://mybrary.ru/">http://mybrary.ru/</a>	Организация-владелец: Компания «Майбрани»

**Прим.:** Аспирантам обеспечена возможность свободного доступа (на основе индивидуальных логинов и паролей) к ресурсам всех выше перечисленных электронно-библиотечных систем.

## 9. Материально-техническое обеспечение

Кафедра общей физики располагает материально-технической базой, соответствующей действующим санитарно-техническим нормам и

обеспечивающей проведение всех видов теоретической и практической подготовки, предусмотренных учебным планом аспиранта, а также эффективное выполнение диссертационной работы.

N п/П.	Название дисциплины	Наименование оборудованных учебных кабинетов, объектов для проведения практических занятий с перечнем основного оборудования	Фактический адрес учебных кабинетов и объектов
1	2	3	4
1.	Физика суперионных проводников	Лекционная аудитория, мультимедийный проектор, Компьютерный класс, Учебно-исследовательская научная лаборатория «Физика конденсированного состояния», автоматизированный дифрактометр ДРОН-4-07, вакуумная установка для синтеза образцов в бескислородной среде, установка для исследования электропроводности, ионной проводимости, термоЭДС, установка для титрования, микроскоп металлографический, программный комплекс Sage MD, программа для расчета кристаллической структуры GSAS, пакет программ Quantum Espresso	пр-т. Ленина, 37 физико-математический факультет, СФ БашГУ, кабинеты № 312, 315, 216, 116