

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук**



**УТВЕРЖДАЮ**  
Зам. директора Института по научной работе  
С.В. Лебедев

« 20 » \_\_\_\_\_ 2015 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**МАГНЕТИЗМ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД**  
основной образовательной программы подготовки  
научно-педагогических кадров в аспирантуре  
по направлению **03.06.01 Физика и астрономия**

Профиль:

01.04.02 Теоретическая физика

Квалификация: Исследователь. Преподаватель-исследователь.

Программа одобрена Ученым советом  
ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Протокол № 1 от «20» февраля 2015 г.

Санкт-Петербург  
2015 г.

Рабочая программа составлена на основании федеральных государственных образовательных стандартов основных образовательных программ высшего образования подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению 03.06.01 Физика и астрономия, специальность 01.04.02 Теоретическая физика.

### **1. Цель освоения дисциплины**

**Целью курса является:**

- получение знаний по физике магнитных явлений в конденсированных средах, а также о перспективных магнитных материалах и их применениях в технике.
  - создание у аспирантов представлений о природе взаимодействий, ответственных за магнитное упорядочение, магнитную анизотропию, статические и динамические магнитные свойства кристаллов.
  - формирование представлений об особенностях магнитных свойств пленочных материалов, обменно-связанных структур, магнитных, оптических и магнитооптических свойств поверхности и интерфейса.
  - ознакомление аспирантов с последними достижениями физики сверхбыстрого магнетизма.
- Для достижения задач, поставленных при изучении дисциплины, используется набор методических средств: учебная, учебно-методическая литература, информационные ресурсы библиотеки, электронные курсы и др.

### **2. Место дисциплины в структуре ООП**

Учебная дисциплина «Магнетизм конденсированных сред» входит в вариативную часть ООП (дисциплины по выбору). Дисциплина предназначена для аспирантов 2-го года обучения. Преподавание ведется в форме аудиторных занятий и самостоятельной подготовки. Методической основой изучения дисциплины являются курсы физики твердого тела, квантовой механики, статистической физики и термодинамики.

Актуальность изучения дисциплины определяется приоритетной ролью физики магнетизма в современной науке и технике, в частности, для создания устройств хранения, обработки, записи и считывания информации, а также возможностью применений комплекса знаний и умений, приобретаемых в ходе изучения курса, для практических целей. Изучение дисциплины является основой для самостоятельной научно-исследовательской работы в области физики магнитных явлений твердых тел.

### **3. Требования к результатам освоения дисциплины**

Процесс изучения дисциплины «Магнетизм конденсированных сред» направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ООП:

#### **3.1. Универсальные компетенции:**

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1).

#### **3.2. Общепрофессиональные компетенции:**

- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1).

#### **3.3. Профессиональные компетенции:**

- способность планировать и организовывать работу по теоретическим проектам, направленных на изучение новых физических эффектов (ПК-1);
- способность получать и обрабатывать информацию по новым методам расчетов в области теоретической физики (ПК-2);
- способность анализировать и систематизировать научную информацию по современным достижениям в области общей физики и специальных областей физики по теме исследования (ПК-3);
- способность анализировать физические явления на качественном уровне, умение делать оценки и развить навыки работы с экспериментальными данными (ПК-4).

**4. Структура и содержание дисциплины «Магнетизм конденсированных сред»:**  
общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы (108 часов).

**4.1. Объем дисциплины и количество учебных часов:**

Вид учебной работы	Трудоемкость (в часах)
Аудиторные занятия	14
Лекции	14
Семинары	-
Лабораторные занятия	-
Другие виды учебной работы (зачет по темам курса)	
Внеаудиторные занятия	94
Самостоятельная работа аспиранта	94
<b>ИТОГО</b>	<b>108</b>
Вид итогового контроля	зачет

№ п/п	Тема	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу, и трудоемкость (в часах)			
		Лек	СЕМ	Лаб	СР
1	Введение	3			4
2	Типы магнитных структур	3			22
3	Статические и динамические магнитные явления в кристаллах и пленочных структурах	4			34
4	Магнитооптические явления в конденсированных средах	2			17
5	Применения магнитных материалов	2			17
6	Зачет				
	<b>ИТОГО</b>	<b>14</b>			<b>94</b>

**5. Содержание разделов (тем) дисциплины**

**5.1. Содержание аудиторных занятий**

**Тема 1 – Введение.**

(лекции - 3 часа)

История развития учения о магнетизме. Магнитные моменты свободных атомов. Правило Хунда. Снятие орбитального вырождения кристаллическим полем. Высокоспиновые и низкоспиновые состояния. Замораживание орбитального момента. Влияние спин-орбитального взаимодействия. Теория молекулярного поля. Магнитный момент и магнитная восприимчивость диа-, пара-, ферро-, ферри- и антиферромагнетиков.

(СР - 4 часа)

**Тема 2 – Типы магнитных структур**

(лекции – 3 часа)

Магнитная симметрия. Ферриты со структурой шпинели, граната, ортоферриты, гексаферриты. Слабые ферромагнетики. Поле Дзялошинского. Магнетизм 3d-металлов. Аморфные магнетики и спиновые стекла. Однодоменные частицы. Суперпарамагнетизм.  
(СР - 2 2 часа)

### **Тема 3 – Статические и динамические магнитные явления в объемных средах и пленочных структурах.**

*(лекции - 4 часа)*

3.1 Обменное взаимодействие на примере молекулы водорода. Модель Гайзенберга. Косвенное обменное взаимодействие. Пленочные обменно-связанные структуры. Спин-орбитальное взаимодействие. Магнитная анизотропия, ее природа и феноменологическое описание. Индуцированные магнитным полем магнитные фазовые переходы в ферромагнетиках, антиферромагнетиках, обменно-связанных структурах. Изменение свойств магнетиков под действием электрического поля и давления.

3.2 Доменная структура. Причины образования доменов. Однодоменные частицы и суперпарамагнетизм. Методы наблюдения доменов. Структура доменных стенок Блоха и Нееля. Линии и точки Блоха. Скрученная доменная стенка. Цилиндрические домены (ЦМД). Стабильность полосовых и цилиндрических магнитных доменов.

3.3 Уравнение Ландау-Лифшица для движения намагниченности. Магнитные резонансы. Влияние диссипации энергии, размагничивающего поля и магнитной анизотропии. Ферри – и антиферромагнитный резонансы. Спиновые волны. Электродинамика плоских электромагнитных волн в ферромагнетике. Магнитостатические волны. Энергия неоднородного магнитного состояния. Магноны. Параметрическое возбуждение спиновых волн. Релаксационные процессы.

3.4 Сверхбыстрый магнетизм. Методика Pump-probe.

*(СР - 3 4 часа)*

### **Тема 4– Магнитооптические явления в конденсированных средах.**

*(лекции - 2 часа)*

4.1 Классификация линейных магнитооптических явлений. Магнитооптические эффекты на прохождении: эффект Фарадея, магнитный круговой дихроизм, магнитное линейное двупреломление света, магнитный линейный дихроизм, магнитное преломление света, магнитоэлектрический эффект в оптическом диапазоне, магнитоиндуцированная пространственная дисперсия. Магнитооптические эффекты в отражении света.

4.2 Нелинейные магнитооптические явления. Генерация второй оптической гармоники в магнитоупорядченных кристаллах. Визуализация антиферромагнитных доменов. Магнитная вторая оптическая гармоника в отражении света. Нарушение операции инверсии на поверхности и интерфейсе.

*(СР - 1 7 часов)*

### **Тема 5 – Применения магнитных материалов**

*(лекции - 2 часа)*

Магнитная запись и считывание. Жёсткий диск. Гигантское магнетосопротивление. Спин-волновые устройства СВЧ диапазона. Магнитооптические устройства. Инвары. Магнетокалорический эффект. Магнитное охлаждение.

*(СР - 1 7 часов)*

#### **5.2. Самостоятельная работа аспиранта**

Самостоятельная работа аспиранта включает повторение лекционного материала по темам, чтение рекомендованной литературы и научной периодики, а также изучение методических рекомендаций для самостоятельной работы.

### **6. Оценочные средства для текущего контроля и промежуточной аттестации**

Цель контроля - получение информации о результатах обучения и степени их соответствия результатам обучения.

### 6.1. Текущий контроль

Текущий контроль проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, уровень подготовки.

Текущая самостоятельная работа аспиранта направлена на углубление и закрепление знаний, и развитие практических умений.

### 6.2. Аттестация

Аттестация проводится в форме зачета. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.

Контрольные вопросы для аттестации:

N	Контрольные вопросы
1.	Магнитный момент свободного иона и иона в кристаллическом поле. Высокоспиновые и низкоспиновые состояния. Замораживание орбитального момента.
2.	Молекулярного поля. Магнитный момент и магнитная восприимчивость диа-, пара-, ферро-, ферри- и антиферромагнетиков.
3.	Магнитная симметрия. Ферриты со структурой шпинели, граната, ортоферриты, гексаферриты.
4.	Слабые ферромагнетики. Поле Дзялошинского.
5.	Магнетизм 3d-металлов.
6.	Аморфные магнетики и спиновые стекла. Однодоменные частицы. Суперпарамагнетизм.
7.	Обменное взаимодействие на примере молекулы водорода. Модель Гайзенберга.
8.	Косвенное обменное взаимодействие.
9.	Пленочные обменно-связанные структуры.
10.	Спин-орбитальное взаимодействие. Магнитная анизотропия, ее природа и феноменологическое описание.
11.	Индукцированные магнитным полем магнитные фазовые переходы
12.	Причины образования доменов. Структура доменных стенок Блоха и Нееля. Линии и точки Блоха. Стабильность полосовых и цилиндрических магнитных доменов.
13.	Уравнение Ландау-Лифшица для движения намагниченности. Магнитные резонансы.
14.	Спиновые волны. Электродинамика плоских электромагнитных волн в ферримагнетике. Магнитостатические волны.
15.	Сверхбыстрый магнетизм. Методика Pump-probe
16.	Классификация линейных магнитооптических явлений. Магнитооптические явления в прохождении и отражении света
17.	Нелинейные магнитооптические явления. Генерация второй оптической гармоники в магнитоупорядченных кристаллах. Визуализация антиферромагнитных доменов.
18.	Магнитная запись и считывание. Жёсткий диск. Спин-волновые устройства СВЧ диапазона. Магнитооптические устройства.

### 7. Образовательные технологии

В процессе обучения применяются следующие образовательные технологии:

1. Сопровождение лекций показом визуального материала;
2. Использование компьютерных моделей физических процессов в полупроводниках;

### 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Учебные, учебно-методические и иные библиотечно-информационные ресурсы обеспечивают учебный процесс и гарантируют возможность качественного освоения

аспирантом образовательной программы. ФТИ им. А.Ф.Иоффе располагает обширной библиотекой, включающей общенаучную и специальную литературу.

## 9. Литература

### *Основная литература:*

1. 5. Боков В.А. Физика магнетиков: учебное пособие для вузов / В.А. Боков – Санкт-Петербург: - Невский диалект, 2002 г- 271 с.
2. Ландау Л.Д. Теоретическая физика: Том VIII. Электродинамика сплошных сред / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, под редакцией Л.П. Питаевского - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2001, - 651 с.
3. Кринчик Г.С., Физика магнитных явлений / Г.С. Кринчик Изд. МГУ, 1976 г. и 1985 г.
4. Калиникос Б.А. Спин-волновые устройства и эхо-процессоры / Б.А. Калиникос, А.Б. Устинов, С.А. Баруздин, Москва, Радиотехника, 2013 г.
5. Смоленский Г.А. Ферриты и их техническое применение”, / Г.А. Смоленский, В.В. Леманов. Наука, 1975 г.
6. Гинзбург С.Л., Необратимые явления в спиновых стеклах. Москва: Наука, 1989 – 152 с. (Соврем. Пробл. физики).
7. Гуревич А.Г. Магнитные колебания и волны/ А.Г. Гуревич и Г.А. Мелков, Наука, 1994 г.

### *Дополнительная литература*

1. Вонсовский С.В., Магнетизм, Наука, 1971 г.
3. А. Малоземов и Дж. Слонзуски, “Доменные стенки в материалах с цилиндрическими магнитными доменами “, Наука, 1994 г.
4. К.П. Белов, А.К. Звездин, А.М. Кадомцева, Р.З. Левитин. Ориентационные переходы в редкоземельных магнетиках. Наука, 1979 г.
5. А.К. Zvezdin, V.A. Kotov. Modern Magneto-optics and Magneto-optical Materials. Institute of Physics Publishing, Bristol, 1997.

## 10. Интернет-ресурсы

### Отечественные журналы:

1. Физика твердого тела, электронная версия; доступ с 1992 по текущий год;
2. Физика и техника полупроводников, электронная версия; доступ с 1992 по текущий год;
3. ЖЭТФ; электронная версия; доступ с 2001 по текущий год;
4. Письма в ЖЭТФ электронная версия; доступ с 2008 по текущий год;
5. Успехи физических наук электронная версия; доступ с 1988 по текущий год.

### Иностраные журналы:

1. Physical Review B (American Physical Society) электронная версия; доступ с 1970 по текущий год;
2. Physical Review Letters (American Physical Society) электронная версия; доступ с 1958 по текущий год;
3. Applied Physics A: Materials Science & Processing (Springer) подписка с 2013 года
4. Central European Journal of Physics доступ с 2003 по текущий год;
5. The European Physical Journal B Condensed Matter and Complex Systems (Springer) подписка с 2013 года;
6. International Journal of Modern Physics B (World Scientific Publishing Company) электронная версия; доступ с 2003 по текущий год;
7. Journal of Physics and Chemistry of Solids (Elsevier (Science Direct) электронная версия; доступ с 1958 по 2009;
8. Journal of Physics : Condensed Matter (UK Institute of Physics ) электронная версия; доступ с 1989 по текущий год;
9. Nanotechnology (UK Institute of Physics) электронная версия; доступ с 1990 по текущий год;
10. Nature (Nature Publishing Group) электронная версия; доступ с 1997 по текущий год;
11. Nature Materials (Nature Publishing Group) электронная версия; доступ с 2002 по текущий год  
New Journal of Physics" (UK Institute of Physics) электронная

- версия; доступ с 1999 по текущий год;
12. Philosophical Magazine (Taylor & Francis Group) электронная версия; доступ с 1798 по текущий год;
  13. Philosophical Magazine Letters (Taylor & Francis Group) ) электронная версия; доступ с 1987 по текущий год;
  14. Physica B (Condensed Matter) (Elsevier (Science Direct) электронная версия; доступ с 1999 по текущий год;
  15. Physica E (Nanostructures) ) (Elsevier (Science Direct) электронная версия; доступ с 2003 по текущий год;
  16. Physica Status Solidi A (Wiley) электронная версия; доступ с 1996 по текущий год;
  17. Physica Status Solidi B (Wiley) электронная версия; доступ с 1996 по текущий год;
  18. Physica Status Solidi C (Wiley) электронная версия; доступ с 2003 по текущий год;
  19. Physica Status Solidi RRL (Wiley) электронная версия; доступ с 2007 по текущий год;
  20. Solid State Communications (Elsevier (Science Direct) электронная версия; доступ с 1972 по 2010.

### **11. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН располагает материально-технической базой, соответствующей санитарно-техническим нормам и обеспечивающей проведение всех видов теоретической подготовки, предусмотренной учебным планом.

#### ***Наименование оборудования для проведения занятий по дисциплине:***

1. Лекционная аудитория
2. Мультимедийный проектор
3. Персональный компьютер
4. Лаборатория оптических явлений в сегнетоэлектрических и магнитных кристаллах, имеющая современное оборудование для исследования линейных и нелинейных оптических явлений в магнитных материалах.
5. Лаборатория кинетических явлений в твердых телах при низких температурах, имеющая современный криомагнитный комплекс измерения физических свойств конденсированных сред PPMS-14, позволяющий обеспечить измерения физических свойств в интервале температур (0.4-400) К и магнитных полей до 14Т в круглосуточном режиме. Осуществлять комплексную характеристику электрических, сверхпроводящих, магнитных, тепловых, термоэлектрических свойств новых материалов и композитных систем для создания элементов электронной и сенсорной техники.
6. Лаборатория физики ферроиков, имеющая современное оборудование для исследования сверхбыстрых магнитных явлений.

Программа разработана вед.н.с., д.ф.-м.н. Б.Б. Кричевцовым.