

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт проблем сверхпластичности металлов  
Российской академии наук**

**УТВЕРЖДАЮ**

Директор ИПСМ РАН

Р.Р. Мулюков

2015 г.



**Рабочая программа учебной дисциплины  
«Физические свойства наноструктурных материалов»**

Составлена для аспирантов ИПСМ РАН, обучающихся по направлению  
03.06.01 «Физика и астрономия»,  
профиль «Физика конденсированного состояния»

Форма обучения

очная

Составитель

в.н.с., д.ф.-м.н.

М.Ф. Имаев

Программа обсуждена и одобрена на заседании ученого совета ИПСМ РАН,  
протокол № 11-15 от 02 июля 2015 г.

Уфа 2015

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
1. Цель и задачи курса.....	3
1.1. Цель и задачи изучения дисциплины.....	3
1.2. Основные задачи изучения дисциплины.....	3
1.3. Компетенции, формируемые дисциплиной.....	3
2. Место дисциплины в учебном процессе .....	4
3. Объем дисциплины и виды учебной работы.....	4
4. Содержание дисциплины.....	4
4.1. Разделы дисциплины, трудоемкость (в часах) по видам занятий .....	4
4.2. Содержание разделов дисциплины.....	5
4.3. Самостоятельная работа .....	6
5. Текущая и промежуточная аттестация. Фонд оценочных средств .....	6
5.1. Организация текущего контроля освоения материала .....	6
5.2. Промежуточная аттестация.....	7
6. Материальное обеспечение дисциплины.....	8
7. Учебная литература для самостоятельной работы.....	9
7.1. Основная литература .....	9
7.2. Дополнительная литература .....	9

## **Введение**

Настоящая учебная программа составлена в соответствии с Федеральным законом «Об образовании в Российской Федерации» от 29.12.2012 г. № 273-ФЗ, Приказом Министерства образования и науки РФ от 19.11.2013 №1259 «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)», федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30 июля 2014 г. N 867, с изменениями, утвержденными Приказом Минобрнауки России от 30.04.2015 г. № 464 «О внесении изменений в федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации)», паспортом специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния», Уставом ИПСМ РАН и положениями, регламентирующими работу аспирантуры ИПСМ РАН.

### **1. Цель и задачи изучения дисциплины**

**1.1. Цель изучения дисциплины** – формирование у аспирантов фундаментальных знаний о влиянии дефектов и размера структурных элементов металлов и сплавов на их электрические и магнитные свойства, а также возможных практических применениях наноматериалов.

#### **1.2. Основные задачи изучения дисциплины**

В результате изучения дисциплины аспирант должен знать:

- основы магнитных и электрических свойств материалов;
- роль дефектов кристаллического строения и размеров элементов структуры в формировании магнитных и электрических свойств наноматериалов;
- математические методы описания и прогнозирования физических свойств наноматериалов;

Аспирант должен уметь:

- анализировать физические свойства твердых тел с использованием представлений о дефектах кристаллического строения, фазовом составе и размерах структурных элементов;
- пользоваться литературой по методам исследований физических свойств наноматериалов.
- использовать передовые отечественные и зарубежные достижения в области физических свойств наноматериалов при проведении научных исследований.

Аспирант должен приобрести навыки:

- владения методологией теоретических и экспериментальных исследований в области физических свойств наноматериалов;
- изучения современных достижений в области физических свойств наноматериалов;
- использования современных достижений в области физических свойств наноматериалов в исследовательской работе.

#### **1.3. Компетенции, формируемые дисциплиной:**

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций:

**универсальных -**

– способности 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);

**профессиональных -**

– готовности использовать знания и передовые отечественные и зарубежные достижения в области физики конденсированного состояния при проведении научных исследований и разработке перспективных материалов с определенными свойствами, методов их обработки, конструкций, приборов и устройств на их основе (ПК-2).

**2. Место дисциплины в учебном процессе**

Дисциплина «Физические свойства наноматериалов» преподается в 3-й год обучения аспиранта и относится к дисциплинам вариативной части для профиля «Физика конденсированного состояния», изучаемым по выбору аспиранта.

Данная дисциплина базируется на следующих дисциплинах первых двух уровней высшего образования по направлению «Физика и астрономия»: кристаллография, физика конденсированного состояния, дефекты кристаллического строения, прочность и пластичность материалов.

Знания, умения и навыки, приобретенные в результате изучения дисциплины «Физические свойства наноматериалов», используются в научно-исследовательской работе аспиранта и подготовке диссертации на соискание ученой степени кандидата наук.

**3. Объем дисциплины и виды учебной работы**

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц	Год
		3
Общая трудоемкость дисциплины	108 / 3	108
Аудиторные занятия	36/1	36
Лекции	36/1	36
Практические занятия	-	-
Самостоятельная работа	72/2	72
Вид итогового контроля		зачет

**4. Содержание дисциплины**

**4.1. Разделы дисциплины, трудоемкость (в часах) по видам занятий**

№	Название раздела	Всего часов	Аудиторные часы			Самостоятельная работа
			Лекции	Семинары	Практические занятия	
1	Строение и основные характеристики материалов	8	2			6

2	Субмикроструктурные (СМК) и наноматериалы (НМ)	8	2			6
3	Магнитные свойства металлов	16	6			10
4	Магнитное упорядочение	16	6			10
5	Доменная структура материалов	12	4			8
6	Намагниченность и магнитные фазовые превращения в ферромагнетиках с СМК структурой	12	4			8
7	Высококоэрцитивные материалы	12	4			8
8	Общие представления об электрической проводимости металлов	12	4			8
9	Электрические свойства СМК и НМ	12	4			8
	Итого	108	36			72

## 4.2. Содержание разделов дисциплины

### 1. Строение и основные характеристики материалов

Виды связи. Типы кристаллической решетки. Виды термо-механической обработки. Рекристаллизация.

### 2. Субмикроструктурные (СМК) и наноматериалы (НМ)

Основные разновидности НМ. Методы получения консолидированных НМ. Особенности строения НМ.

### 3. Магнитные свойства металлов

Основные величины. Диамагнетики. Парамагнетики. Измерение парамагнитной и диамагнитной восприимчивости.

### 4. Магнитное упорядочение

Методы измерения ферромагнитных свойств. Магнитные материалы. Гистерезисные свойства металлов: кобальт, никель, РЗМ ферромагнетики.

### 5. Доменная структура материалов

Методы исследования доменной структуры. Доменная структура кобальт и никеля.

*Намагниченность и магнитные фазовые превращения в ферромагнетиках с СМК структурой*

Никель. Кобальт. РЗМ (Gd,Dy,Tb).

### 7. Высококоэрцитивные материалы

Сплавы системы Fe-Nd-B.

#### *8. Общие представления об электрической проводимости металлов*

Методы измерения электрического сопротивления. Электросопротивление чистых металлов, твердых растворов, химических соединений, гетерогенных сплавов. Влияние наклепа на электросопротивление.

#### *9. Электрические свойства СМК и НМ*

Электросопротивление наноструктурированной меди с преимущественно большеугловыми границами зерен произвольного типа. Электросопротивление наноструктурированной меди с высокой долей двойниковых границ зерен.

### **4.3. Самостоятельная работа**

В курсе запланировано 72 часа на самостоятельную работу аспирантов, которая включает в себя самостоятельную проработку и расширенное изучение материала, систематизацию, закрепление знаний, выполнение заданий и подготовку к сдаче зачета.

## **5. Текущая и промежуточная аттестация.**

### **Фонд оценочных средств**

#### **5.1. Организация текущего контроля освоения материала**

Текущий контроль знаний по дисциплине «Физические свойства наноматериалов» осуществляется путем устных или письменных опросов по вопросам пройденных тем с периодичностью через 2 занятия с использованием вопросов для текущего контроля, а также задания, направленного на проверку сформированности компетенций при изучении дисциплины.

Объектами оценивания при текущем контроле выступают:

- учебная дисциплина - активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость занятий;
- степень усвоения теоретических знаний;
- степень сформированности компетенций.

*Примерный перечень вопросов для подготовки аспирантов к текущему контролю теоретических знаний*

1. Методы интенсивной пластической деформации.
2. Напряженность и индукция магнитного поля.
3. Виды магнитных материалов.
4. Природа диамагнетизма.
5. Диамагнетизм элементов.
6. Природа парамагнетизма.
7. Законы Кюри и Кюри-Вейсса.
8. Магнитные моменты электрона.
9. Порядок заполнения энергетических подуровней атома.
10. Что такое магнетон Бора?
11. Методы измерения магнитной восприимчивости слабомагнитных материалов.
12. Виды энергии ферромагнетика.
13. Магнитостатическая энергия ферромагнетика.
14. Энергия анизотропии ферромагнетика.
15. Что такое размагничивающий фактор?
16. Как построить истинную кривую намагничивания?
17. Последовательность намагничивания в ферромагнетике.
18. Намагничивание в условиях совместного действия магнитного поля и напряжений.

19. Виды магнитоstriction.
20. Суть теории коэрцитивной силы по Кондорскому.
21. Особенности гистерезисных свойств 3d и 4f ферромагнетиков.
22. Основные методы измерения ферромагнитных свойств.
23. Методы исследования магнитных доменов. Особенности использования Лоренцевой микроскопии.
24. Сходство и различия доменных структур в Co и Ni.
25. Влияние температуры на доменную структуру Co и Ni.
26. Доменные стенки Блоха и Нееля.
27. Структурно-чувствительные и структурно-нечувствительные свойства ферромагнетиков.
28. Причины уменьшения температуры Кюри в СМК и нано-никеле.
29. Что такое суперпарамагнетизм?
30. Особенности поведения антиферромагнитного порядка в наноструктурированных РЗМ металлах.
31. В чем заключается основная идея получения однодоменного состояния?
32. Как получить материалы с высоким значением коэрцитивной силы и остаточной намагниченности в системе Fe-Nd-B?
33. Поведение сферы Ферми в условиях приложенного электрического поля.
34. Зависимость электросопротивления чистых металлов от температуры.
35. Зависимость электросопротивления металлов от чистоты.
36. Зависимость электросопротивления чистых металлов от давления.
37. Зависимость электросопротивления чистых металлов от наклепа.
38. Электросопротивление однородных твердых растворов.
39. Электросопротивление неоднородных твердых растворов.
40. Электросопротивление упорядоченных сплавов.
41. Электросопротивление промежуточных фаз.
42. Особенности электросопротивления химических соединений.
43. Эффективность дефектов решетки с точки зрения рассеяния электронов проводимости.
44. Наноструктурированная медь с высокой долей двойниковых границ: получение, причины высокой прочности и относительно невысокого электросопротивления.

#### *Задание для оценки степени сформированности компетенций*

Для демонстрации степени сформированности компетенций при изучении дисциплины аспирант самостоятельно выполняет письменное задание следующего содержания.

1. Проводит критический анализ современных научных достижений в области исследования физических свойств наноматериалов и формулирует нерешенные проблемы (компетенция УК-1).
2. Устанавливает связь современных достижений в области исследования физических свойств наноматериалов с темой диссертационной работы аспиранта (ПК-2).

## **5.2. Промежуточная аттестация**

Промежуточная аттестация осуществляется с целью выявления степени освоения аспирантом теоретических знаний по дисциплине. Промежуточная аттестация проводится в форме зачета в конце 6-го семестра.

Обучающийся допускается к зачету или экзамену в случае выполнения всех учебных заданий, предусмотренных настоящей программой. В случае наличия учебной задолженности (пропущенных занятий и (или) невыполненных заданий) аспирант

отрабатывает пропущенные занятия и выполняет задания.

*Зачет* проводится в письменно-устной форме. Аспиранту выдается задание в виде двух из приведенного ниже перечня. Зачет проводится в аудитории, время на написание и подготовку к ответам 40 минут.

Оценка «зачтено» выставляется при правильном и достаточно полном ответе, правильно использующем специальную терминологию, и умении отвечать на дополнительные вопросы, непосредственно связанные с темой билета. При этом могут допускаться ошибки непринципиального характера.

Оценка «не зачтено» выставляется при недостаточно полном ответе, при неправильном использовании специальной терминологии, неумении отвечать на дополнительные вопросы, непосредственно связанные с темой билета, при наличии в ответе ошибок принципиального характера.

Получение зачета является необходимым условием аттестации аспиранта за второй год обучения.

*Перечень вопросов для подготовки аспирантов к промежуточной аттестации по дисциплине*

1. Методы интенсивной пластической деформации.
2. Напряженность и индукция магнитного поля.
3. Виды магнитных материалов.
4. Природа диамагнетизма.
5. Диамагнетизм элементов.
6. Природа парамагнетизма.
7. Законы Кюри и Кюри-Вейсса.
8. Магнитные моменты электрона.
9. Порядок заполнения энергетических подуровней атома.
10. Что такое магнетон Бора?
11. Методы измерения магнитной восприимчивости слабомагнитных материалов.
12. Виды энергии ферромагнетика.
13. Магнитостатическая энергия ферромагнетика.
14. Энергия анизотропии ферромагнетика.
15. Что такое размагничивающий фактор?
16. Как построить истинную кривую намагничивания?
17. Последовательность намагничивания в ферромагнетике.
18. Намагничивание в условиях совместного действия магнитного поля и напряжений.
19. Виды магнитострикции.
20. Суть теории коэрцитивной силы по Кондорскому.
21. Особенности гистерезисных свойств 3d и 4f ферромагнетиков.
22. Основные методы измерения ферромагнитных свойств.

## **6. Материальное обеспечение дисциплины**

Для проведения занятий используется аудитория, оснащенная компьютером, проектором и экраном.



## 7. Учебная литература для самостоятельной работы

### 7.1. Основная литература

1. Лившиц Б.Г., Крапошин В.С., Линецкий Я.Л. Физические свойства металлов и сплавов. – М, Металлургия, 1980.
2. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М., Наука, 1978.
3. Каганов М.И., Цукерник В.М. Природа магнетизма. – М., Наука, 1982.
4. Чечерников В. И. Магнитные измерения. Изд. МГУ, 1969.
5. Суздаев И.П. Электрические и магнитные переходы в нанокластерах и наноструктурах, 2012, 480 с.
6. Мишин Д.Д. Магнитные материалы. – М, Высшая школа, 1991.
7. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. – М., ФИЗМАТЛИТ, 2005.
8. Боровик Е. С, Еременко В. В., Мильнер А. С. Лекции по магнетизму. - М., ФИЗМАТЛИТ, 2005.
9. Калашников С.Г. Электричество: учебное пособие для ВУЗов-5-е изд., испр. И доп.- М.: Наука, 1985, 576 с.

### 7.2. Дополнительная литература

1. Преображенский А. А., Бишард Е.Г. Магнитные материалы и элементы. - М., Высшая школа, 1986.
2. Кан Р.У., Хаазен П.Т. Физическое металловедение (в 3-х томах). М.: Мир, 1967-1968.
3. Кипарисов С.С. Либенсон Г.А., Порошковая металлургия. М:Металлургия, 1980, 495 с.
4. Ивенсен В.А. Феноменология спекания и некоторые вопросы теории. М:Металлургия, 1985, 247 с.
5. Белов К.П. Магнитотепловые явления в редкоземельных магнетиках. М.:Наука, 1990, 96 с.
6. Бэрк Г. Справочное пособие по магнитным явлениям. М.: Энергоатомиздат (пер. с англ.), 1991, 384 с.
7. Температура Кюри и намагниченность насыщения никеля с субмикрозернистой структурой. /Валиев Р.З., Мулюков Р.Р., Мулюков Х.Я. и др. //Письма в ЖТФ. -1989. - т.15. вып.1. с.78-81.
8. Мулюков Х.Я., Корзникова Г.Ф., Никитин С.А. Влияние структурного состояния на температурную зависимость намагниченности диспрозия. //ФТТ. -1995. -т.37. № 8. -с. 2481-2486.
9. Мулюков Х.Я., Шарипов И.З., Никитин С.А. Магнитострикция диспрозия с субмикрокристаллической структурой. //ФТТ. -1996. -т.38. № 5. -с.1629-1631.
10. Мулюков Х.Я., Шарипов И.З., Никитин С.А. Гистерезис гигантской магнитострикции субмикрокристаллического диспрозия и эффекты отжига образца. //ФММ. -1996. -т.81. вып.2. -с.70-75.
11. О механизме перемагничивания микрокристаллических сплавов NdFeB / Н.А. Манаков, Г.Ф. Корзникова, В.В. Столяров В.В. Толмачев // ФММ. – 1991. - № 1. - С. 197-199.
12. Корзникова Г.Ф., Столяров В.В., Тимофеев В.Н. Доменная структура и процессы перемагничивания в быстрозакаленном сплаве системы Nd-Fe-B. // Металлофизика. – 1991. - Т. 13. - № 12.- С. 69-76.