

**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  
«Экспериментальные методы физики металлов и металловедения»**

Составлена для аспирантов ИПСМ РАН, обучающихся по направлению  
22.06.01 «Технологии материалов»,  
профиль 05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Форма обучения

очная

Составитель

Рук.гр. РСА, к.ф.-м.н., доцент

В.Н. Даниленко

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. Практические занятия.....	5
4.4. Самостоятельная работа .....	5
5. Текущая и промежуточная аттестация. Фонд оценочных средств.....	5
5.1. Организация текущего контроля освоения материала .....	5
5.2. Промежуточная аттестация.....	7
6. Материальное обеспечение дисциплины.....	8
7. Учебная литература для самостоятельной работы.....	8
7.1. Основная литература .....	8
7.2. Дополнительная литература .....	8

## 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 22.06.01 «Технологии материалов» (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30 июля 2014 г. № 888, 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 05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов», Уставом ИПСМ и положениями, регламентирующими работу аспирантуры ИПСМ РАН.

### 1. Цели и задачи изучения дисциплины

**1.1. Цель изучения дисциплины** – формирование компетенций в области современных экспериментальных методов исследования природы кристаллических и аморфных тел в твердом состоянии в зависимости от их химического состава, температуры и давления.

#### 1.2. Основные задачи изучения дисциплины:

В результате изучения дисциплины аспирант должен знать:

- свойства рентгеновских лучей, быстрых электронов и нейтронов;
- кинематическую теорию рассеяния рентгеновских лучей, быстрых электронов и нейтронов кристаллами

- основные методы рентгеноструктурного и электронно–микроскопического анализа, включая аналитическую электронную микроскопию.

Аспирант должен уметь:

- определять фазовый состав, параметры решетки и текстуру кристаллического вещества;

- проводить съемку изображений в просвечивающих электронных микроскопах и соответствующим им дифракционных картин

- владеть методами аналитической электронной микроскопии

Аспирант должен приобрести навыки:

- применять освоенные экспериментальные методы физики металлов и металловедения к решению задач прикладного материаловедения и созданию новых материалов;

- анализировать полученные экспериментальные данные;

- находить и использовать современные достижения в экспериментальных методах физики металлов и металловедения в исследовательской работе.

#### 1.3. Компетенции, формируемые дисциплиной:

Дисциплина участвует в формировании следующей **общепрофессиональной** компетенции:

способности выбирать приборы, датчики и оборудование для проведения экспериментов и регистрации их результатов (ОПК-10).

## 2. Место дисциплины в учебном процессе

Дисциплина «Экспериментальные методы физики металлов и металловедения» преподается во 2-й год обучения аспиранта и относится к дисциплинам вариативной части для профиля «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов», изучаемым по выбору аспиранта. Данная дисциплина базируется на следующих дисциплинах первых двух уровней высшего образования по направлению «Технологии материалов»: материаловедение, кристаллография, теория термической обработки.

Знания, умения и навыки, приобретенные в результате изучения дисциплины «Экспериментальные методы физики металлов и металловедения» 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
		2
Общая трудоемкость дисциплины	108 / 3	108
Аудиторные занятия	36 / 1	36
Лекции	18 / 0,5	18
Практические занятия	18 / 0,5	18
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	Рассеяние электромагнитных лучей кристаллами	12	2			10
2	Приготовление объектов исследования	14	1		2	11
3	Основные методы рентгеноструктурного анализа	23	4		4	15
4	Рентгенографический анализ преимущественных ориентировок (текстур)	19	4		4	11
5	Принцип действия и устройство электронного микроскопа	17	3		4	10
6	Методы электронно-микроскопического анализа дефектной структуры кристаллов	23	4		4	15
	Общая трудоемкость	108	18		18	72

## **4.2. Содержание разделов дисциплины**

### *1. Рассеяние электромагнитных лучей кристаллами*

Обратное пространство и обратная решетка. Некоторые формулы структурной кристаллографии. Основное уравнение дифракции. Когерентное рассеяние свободным электроном. Атомная функция рассеяния. Рассеяние непримитивной элементарной ячейкой (структурная амплитуда).

### *2. Приготовление объектов исследования*

Методы приготовления образцов для рентгеноструктурных исследований. Требования к тонким фольгам. Методы приготовления фольг. Возможные артефакты тонких фольг. Виды реплик и их назначение

### *3. Основные методы рентгеноструктурного анализа*

Метод Лауэ. Метод вращения. Метод Косселя. Метод порошка. Рентгеновская дифрактометрия. Индексирование дифрактограмм. Прецизионное определение параметра решетки. Качественный и количественный фазовый анализ.

### *4. Рентгенографический анализ преимущественных ориентировок (текстур)*

Классификация текстур и их представление с помощью полюсных фигур. Рентгеновский анализ аксиальных текстур. Построение полюсных фигур с помощью текстуродифрактометра и их анализ. Описание текстур с помощью функции распределения ориентировок (ФРО).

### *5. Принцип действия и устройство электронного микроскопа.*

Принципы формирования амплитудного и фазового контраста. Ход лучей в просвечивающем и растровом электронных микроскопах. Дифракция обратнорассеянных электронов.

### *6. Методы электронно-микроскопического анализа дефектной структуры кристаллов*

Определение вектора Бюргерса дислокаций. Измерение плотности дислокаций. Измерение толщины фольги. Определение угла разориентировки и типа границ зерен.

## **4.3. Практические занятия**

1. Методы приготовления объектов для электронномикроскопических исследований и рентгеноструктурного анализа

2. Назначение, устройство и принцип работы рентгеновских дифрактометров.

3. Методика съемки прямых и обратных полюсных фигур.

4. Устройство, принцип работы и юстировка просвечивающего электронного микроскопа

5. Методики определения параметров границ зёрен (включая EBSD анализ).

## **4.4. 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 «Экспериментальные методы физики металлов и металловедения» осуществляется путем устных или письменных опросов по вопросам пройденных тем после каждого практического занятия с использованием

вопросов для текущего контроля, а также по результатам выполнения практического 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 освоения экспериментальных методик применяемых на практических занятиях
- степень сформированности компетенций

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

1. Природа и свойства рентгеновских лучей.
2. Взаимодействие рентгеновских лучей с веществом. Монохроматоры.
3. Источники рентгеновских лучей.
4. Защита от рентгеновского излучения и дозиметрия.
5. Рентгеновская дифрактометрия.
6. Метод Лауэ.
7. Порядок подготовки образцов для рентгеноструктурного анализа.
8. Какие линии дифрактограммы используют для определения параметров решетки.
9. Влияние физического состояния образца на точность определения фазового состава.
10. Подготовка образца для съемки текстур.
11. Съемка текстур на просвет и отражение.
12. Особенности съемки полюсных фигур в материалах с кубической и гексагональной сингонией.
13. Съемка ФРО для кубических кристаллов.
14. Виды взаимодействия электронов с веществом.
15. Правила безопасности в лаборатории электронной микроскопии.
16. Принципы формирования амплитудного и фазового контраста. Ход лучей в просвечивающем и растровом электронных микроскопах.
17. Электронная пушка. Источники электронов и осветительная система.
18. Линзы электронного микроскопа и их аберрации.
19. Работа просвечивающего электронного микроскопа в режиме изображения и дифракции.
20. Юстировка микроскопа.
21. Вакуумная система.
22. Методы приготовления фольг.
23. Требования к тонким фольгам.
24. Возможные артефакты тонких фольг.
25. Виды реплик.
26. Принцип действия энергодисперсионного анализатора.
27. Формирование изображения и электронограммы в просвечивающем электронном микроскопе.
28. Определение постоянной прибора.
29. Индицирование электронограмм.
29. Определение ориентировки фольги по отношению к падающему пучку.

*По результатам выполнения практических работ пишется отчет*

Отчет по практической работе должен содержать:

- цель практической работы;
- описание полученных результатов;
- выводы по практической работе с анализом возможностей использования изучаемой экспериментальной методики для собственной исследовательской работы.

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

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

- устанавливает связь изученных экспериментальных методов с задачами решаемыми в диссертационной работе аспиранта (компетенции ОПК-10).

## **5.2. Промежуточная аттестация**

Промежуточная аттестация осуществляется с целью выявления степени освоения аспирантом теоретических и практических знаний по дисциплине. Промежуточная аттестация проводится в форме зачета в конце 4-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 не принципиального 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. Обратное пространство и обратная решетка.
2. Основное уравнение дифракции.
3. Когерентное рассеяние свободным электроном. Атомная функция рассеяния.
4. Рассеяние непримитивной элементарной ячейкой (структурная амплитуда).
5. Интегральная интенсивность отражения в кинематическом приближении.
6. Принципы динамической теории рассеяния. Первичная и вторичная экстинкция.
7. Прецизионное определение параметра решетки.
8. Качественный и количественный фазовый анализ.
9. Классификация текстур и их представление с помощью полюсных фигур.
10. Построение полюсных фигур с помощью текстуродиффрактометра и их анализ.
11. Описание текстур с помощью функции распределения ориентировок.
12. Возможности синхротронного излучения в рентгеноструктурном анализе.
13. Электронограммы и их получение. Геометрия электронограмм.
14. Точность электронно-дифракционных наблюдений.

15. Кинематическая теория контраста на изображении. Темнопольное изображение. Светлопольное изображение.
16. Определение вектора Бюргерса дислокаций.
17. Измерение плотности дислокаций.
18. .Определение угла разориентировки и типа границ зерен.
19. .Дифракция электронов в сходящемся пучке.
20. Дифракция обратно рассеянных электронов (EBSD анализ)

## **6. Материальное обеспечение дисциплины**

Для проведения занятий используется аудитория, оснащенная компьютером, проектором и экраном, практические занятия проводятся в лабораториях рентгеноструктурного анализа и электронной микроскопии.

## **7. Учебная литература для самостоятельной работы**

### **7.1. Основная литература**

1. Фульц Б., Хау Дж. М. Просвечивающая электронная микроскопия и дифрактометрия материалов М.: Техносфера, 2011. -904 с.
2. Горелик С.С, Скаков Ю.А., Расторгуев Л.Н. Рентгенографический и электронно–оптический анализ. М.: МИСИС, 1994. – 328 с.
3. Криштал М.М., Ясников И.С. и др. Мир физики и техники. Сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ в примерах практического применения. - Техносфера, 2009. - 208 с.
4. Синдо Д., Оикава Т. Аналитическая просвечивающая электронная микроскопия. М.: Техносфера.2006. – 256 с.

### **7.2. Дополнительная литература**

1. Томас Г., Гориндж М.Дж. Просвечивающая электронная микроскопия материалов. - Гл. ред. физ.-мат. литературы, 1983. - 320 с.
2. Уманский Я.С. Рентгенография металлов. М.: Металлургия, 1967. – 235 с.
3. Бушнев Л.С., Колобов Ю.Р., Мышляев М.М. Основы электронной микроскопии. - Изд. Томского университета. - Томск, 1990. - 220 с.
4. Жияев А.П., Пшеничнюк А.И. Сверхпластичность и границы зерен в ультрамелкозернистых материалах. М.: Физматлит, 2008. – 320с.
5. Спенс Дж. Экспериментальная электронная микроскопия высокого разрешения. М.: Наука, 1986. – 320 с.