

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:

Декан ФФ

\_\_\_\_\_ О.Н. Чайковская

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

Рабочая программа дисциплины  
**ЭЛЕКТРОННАЯ МИКРОСКОПИЯ**

Направление подготовки

**03.03.02 – Физика**

Профиль подготовки

**Фундаментальная физика**

Квалификация выпускника

**Бакалавр**

Форма обучения

**Очная**

Томск — 2016

## 1. Код и наименование дисциплины

Код дисциплины В.6.24 «Электронная микроскопия»  
Специализация «Физика металлов»

## 2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Относится к вариативной части блока Б1, входит в модуль по выбору "Физика металлов".  
Данная дисциплина обеспечивает профессиональную подготовку бакалавров.

## 3. Год и семестр обучения

Четвертый год; первый и второй семестры

## 4. Входные требования для освоения дисциплины

Наличие у студента компетенций, сформированных при освоении курсов общей физики, высшей математики и квантовой механики.

**5. Общая трудоемкость дисциплины** составляет 5 зачетных единиц, 180 часов, из которых 70 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (40 час – занятия лекционного типа, 30 часов – лабораторный практикум), 74 часов – самостоятельная работа обучающегося. На подготовку к экзамену отводится 36 часов

## 6. Формат обучения

Очный

## 7. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Формируемые компетенции (код компетенции, уровень освоения)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-1, 1 уровень	(ПК-1) — 1 ЗНАТЬ: специфику научного знания, современные проблемы физики, приемы самообразования. УМЕТЬ: приобретать систематические знания в выбранной области физики, анализировать возникающие в процессе научного исследования проблемы с точки зрения современных научных парадигм, осмысливать и делать обоснованные выводы из новой научной и учебной литературы. ВЛАДЕТЬ: навыками научного анализа и методологией научного подхода в научно-исследовательской и практической деятельности.
ПК-2, 1 уровень	ПК-2) — 1 ЗНАТЬ: основные стратегии исследований в выбранной области физики. УМЕТЬ: выделять и систематизировать основные цели исследований в выбранной области физики. ВЛАДЕТЬ: методами разработки стратегий исследований в выбранной области физики навыками исследований с помощью современной аппаратуры и информационных технологий.

## 8. Содержание дисциплины и структура учебных видов деятельности

Таблица 8.1

	Наименование раздела	Трудоемкость (час.)					
		семестр	Всего	Контактная работа		СРС	Форма контроля
				Лекции	Практика		
1	Введение	I	2	2			
2	Основы электронной оптики	I	12	8		4	
3	Теория рассеяния электронов	I	18	10		8	коллоквиум
4	Основы электронно-микроскопического контраста	I	40	20		20	коллоквиум
	Экзамен		36			36	
	Итого	I	108	40		68	н
5	Знакомство с прибором (эл. микроскоп). Техника безопасности.	II	4		2		
6	Методика работы на электронном микроскопе	II	14		4	12	
7	Методы приготовления объектов для электронно-микроскопического исследования	II	18		8	10	
8	Электронно-микроскопический и электрографический фазовый анализ	II	18		8	10	отчет
9	Электронно-микроскопическое исследование дефектов кристаллической решетки	II	18		8	10	отчет
	Итого	II	72		30	42	зачет
	Итого	I+II	180	40	30	110	

### Содержание разделов дисциплины

Таблица 8.2

№	Раздел дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1	Введение	Предмет электронной микроскопии. Историческая справка. Методические возможности метода и области его применения в современной науке.
2	Основы электронной оптики	Элементы геометрической оптики: преломление, ход лучей в тонкой линзе, апертура, глубина фокуса и глубина поля. Длина волны электрона. Разрешающая способность (формула Аббе). Электронные линзы. Принцип действия электростатической и магнитной линзы. Движение электронов в длинной магнитной линзе. Аберрации электронных линз (сферическая, хроматическая, астигматизм) и разрешающая способность

		<p>электронных микроскопов.</p> <p>Ход лучей в электронном микроскопе. Устройство электронной пушки. Принцип действия однолинзового и двухлинзового конденсора, устройство наклона и перемещения электронного луча. Ход лучей в объективной линзе. Принципы формирования дифракционного и амплитудно-фазового контраста. Ход лучей в проекционной и промежуточной линзах в режимах изображения и микродифракции. Изображения в темном и светлом поле. Глубина поля и глубина фокуса в электронной микроскопии. Принципы юстировки электронного микроскопа.</p>
3	Теория рассеяния электронов	<p>Электронномикроскопический контраст некристаллических объектов. Резерфордский закон рассеяния электронов. Полное сечение рассеяния и критическая эффективная толщина образца.</p> <p>Волновая функция и волновой вектор электрона. Преломление электронной волны. Рассеяние электронов на атоме. Амплитуда атомного рассеяния. Рассеяние на элементарной ячейке. Структурный фактор элементарной ячейки. Рассеяние на совершенном кристалле.</p> <p>Обратная решетка. Условия Лауэ. Закон Брегга. Сфера отражения. Влияние структурного фактора на дифракционную картину. Влияние размеров и формы кристаллов на форму узлов обратной решетки. Угловые размеры дифракционных максимумов.</p> <p>Геометрия электронограмм. Постоянная прибора. Кольцевые электронограммы (примеры анализа). Принципы анализа электронограмм от монокристаллических объектов. Особенности электронной дифракции на металлических стеклах.</p>
4	Основы электронно-микроскопического контраста	<p>Эффект двух пучков, формирующих изображение. Амплитудно-фазовый контраст и прямое разрешение решетки. Влияние качества фольги (упругого изгиба, изменения толщины) на закономерности формирования амплитудно-фазового контраста. Влияние ускоряющего напряжения на разрешающую способность при прямом разрешении решетки.</p> <p>Кинематическая теория электронномикроскопического контраста. Суть кинематического приближения. Колонковое приближение. Экстинкционная длина. Амплитуда рассеяния на идеальном кристалле. Толщинные и изгибные контуры экстинкции. Измерение толщины фольги.</p> <p>Контраст от несовершенных кристаллов. Контраст смещения на плоских дефектах: дефекты упаковки, границы разориентации, межфазные границы. Муаровый узор.</p> <p>Электронномикроскопический контраст от дислокаций. Контраст от винтовой дислокации, параллельной плоскости фольги. Особенности контраста от краевых и смешанных</p>

		<p>дислокаций; дислокаций, наклонных поверхности фольги; парных дислокаций и дислокационных диполей. Определение векторов Бюргера дислокаций.</p> <p>Типы электронномикроскопического контраста на частицах вторичных фаз: абсорбционный, деформационный, ориентационный, по структурному фактору, различные типы контраста на межфазных границах.</p> <p>Приближения и некоторые следствия динамической теории контраста.</p>
5	Знакомство с прибором (эл. микроскоп). Техника безопасности.	Устройство электронного микроскопа СМ-12 (электронно-оптическая и вакуумная системы, система электропитания), основные принципы их работы.
6	Методика работы на электронном микроскопе	Подготовка прибора к работе и его юстировка; работа в режимах темного и светлого поля, микродифракции.
7	Методы приготовления объектов для электронномикроскопического исследования	Методы электрохимической обработки поверхности металлических материалов. Методика приготовления реплик с экстракцией частиц неметаллических фаз. Электролитические методы приготовления тонких металлических фольг.
8	Электронномикроскопический и электронографический фазовый анализ	Электронномикроскопическое исследование размеров и кристаллической структуры высокодисперсных частиц вторичных фаз методом их экстрагирования на углеродные реплики. Получение и анализ кольцевых электронограмм. Определение размеров частиц с использованием их темнопольных изображений.
9	Электронномикроскопическое исследование дефектов кристаллической решетки	Получение и анализ микроэлектронограмм от монокристаллического объекта с известным типом кристаллической решетки; оси зоны кристалла. Определение толщины фольги. Исследование дислокационной структуры. Работа в режимах светлого и темного поля. Анализ малоугловых разориентировок в субструктурах полигонизации.

## **9. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине и методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.**

Учебно-методическое обеспечение к дисциплине для самостоятельной работы студента составляют:

- электронная версия лекций;
- основная и дополнительная учебная литература (см. Ресурсное обеспечение);
- информационные ресурсы в сети Интернет (см. Ресурсное обеспечение);
- пособие по спецпрактикуму для практических занятий;
- образец для написания отчетов;
- вопросник для экзамена.

Для эффективного освоения дисциплины студентам рекомендуется:

- после лекции просмотреть и обдумать текст конспекта;
- накануне следующей лекции вспомнить материал предыдущей ;
- используя электронную презентацию лектора, перед следующей лекцией ознакомиться с ее примерным содержанием;
- изучение теоретического материала по учебнику и конспекту;
- подготовка к лабораторному занятию;
- работа с литературой в библиотеке.

## **10. Форма промежуточной аттестации и фонд оценочных средств, включающий:**

- Перечень компетенций выпускников образовательной программы, в формировании которых участвует дисциплина, и их карты: см. ФОС к дисциплине.
- Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций: см. ФОС к дисциплине.
- Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения: см. ФОС к дисциплине.
- Промежуточная аттестация подразумевает проведение экзамена в устной форме, который предусматривает дифференцированное оценивание ответа и зачета по лабораторным работам. Экзаменационный билет включает 2 вопроса.

## **11. Ресурсное обеспечение**

### **• Основная литература**

1. Фульц Б. Просвечивающая электронная микроскопия и дифрактометрия материалов / Б. Фульц, М. Хау Дж. – Москва: Техносфера, 2011. – 904 с.
2. Электронная микроскопия : учеб. пособие / А.И. Власов, К.А. Елсуков, И.А. Косолапов. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 168 с.

### **• Дополнительная литература**

1. Хирш П., Хови А., Николсон Р., Пэшли Д., Уэлан М. Электронная микроскопия тонких кристаллов. - Изд. "Мир". - Москва, 1968. - 576 с. Главы 1-7.
2. Утевский Л. М. Дифракционная электронная микроскопия в металловедении. - Изд. "Металлургия. - Москва, 1973. - 584 с.
3. Бушнев Л.С., Колобов Ю.Р., Мышляев М.М. Основы электронной микроскопии. - Изд. Томского университета. - Томск, 1990. - 220 с.
4. Томас Г., Гориндж М. Дж. Просвечивающая электронная микроскопия материалов. -

- Изд. “Наука”. - Москва, 1983. - 320 с.
5. Спенс Дж. Экспериментальная электронная микроскопия высокого разрешения. - Изд. “Наука”. - Москва, 1983. - 320 с.
  6. Шиммель Г. Методика электронной микроскопии. - Изд. “Мир”. - Москва, 1972. - 300 с.

• **Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети Интернет**

1. Издательство «Лань» [Электронный ресурс] : электрон.-библиотечная система. – Электрон. дан. – СПб., 2010- . – URL: <http://e.lanbook.com/>
2. Издательство «Юрайт» [Электронный ресурс] : электрон.-библиотечная система. – Электрон. дан. – М., 2013- . URL: <http://www.biblio-online.ru/>
3. Электронно-библиотечная система Znanium.com [Электронный ресурс] / Научно-издательский центр Инфра-М. – Электрон. дан. – М., 2012- . URL: <http://znanium.com/>
4. Электронно-библиотечная система Консультант студента [Электронный ресурс] / ООО «Политехресурс». - М, 2012- . – URL: <http://www.studentlibrary.ru/>
5. Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ [Электронный ресурс] . – Электрон. дан. – Томск, 2011-. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
6. Электронный каталог [Электронный ресурс] / НИ ТГУ, Научная библиотека ТГУ. – Электрон. дан. – Томск, 2008-2016. – URL: <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?theme=system>
7. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., 2000- . – URL: <http://elibrary.ru/defaultx.asp?>
8. КонсультантПлюс [Электронный ресурс]: справ. правовая система. – Электрон. дан. – М., 1992- . – Доступ из локальной сети Науч. б-ки Том. гос. ун-та.
9. Гарант [Электронный ресурс] : информ.-правовое обеспечение / НПП «Гарант-Сервис». – Электрон. дан. – М., 2016. – Доступ из локальной сети Науч. б-ки Том. гос. ун-та.
10. ScienceDirect [Electronic resource] / Elsevier B.V. – Electronic data. – Amsterdam, Netherlands, 2016. – URL: <http://www.sciencedirect.com/>
11. SpringerLink [Electronic resource] / Springer International Publishing AG, Part of Springer Science+Business Media. – Electronic data. – Cham, Switzerland, [s. n.]. – URL: <http://link.springer.com/>
12. ProQuest Ebook Central [Electronic resource] / ProQuest LLC. – Electronic data. – Ann Arbor, MI, USA, [s. n.]. – URL: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/tomskuniv-ebooks/home.action>
13. [www.matter.org.uk/tem/](http://www.matter.org.uk/tem/)
14. [https://www.jic.ac.uk/microscopy/intro\\_EM.html](https://www.jic.ac.uk/microscopy/intro_EM.html)
15. [www.doitpoms.ac.uk](http://www.doitpoms.ac.uk) > TLP Library

• **Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса.**

При осуществлении образовательного процесса предполагается использование мультимедийных технологий, электронных ресурсов и коммуникационных технологий, включая сайт физического факультета, социальные сети, электронную почту, личные сайты преподавателей.

• **Описание материально-технической базы.**

Учебные занятия проходят с использованием презентационного оборудования. Рабочие места преподавателя и студентов оснащены компьютерами, имеющими выход в сеть

Интернет, что является необходимым условием для проведения самостоятельных занятий по дисциплине. Электронный микроскоп СМ12 для проведения лабораторных работ.

**12. Язык преподавания:** русский

**13. Преподаватель:** профессор Тюменцев А. Н.,  
доцент Пинжин Ю.П.

Авторы: профессор Тюменцев А.Н., доцент Пинжин Ю.П.

Рецензент: доцент Литовченко И.Ю.

Программа одобрена на заседании учебно-методической  
комиссии физического факультета  
Томского государственного университета

30.06.2016 года, протокол № 6-16



МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:

Декан ФФ

\_\_\_\_\_ Н. Чайковская

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ  
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
ЭЛЕКТРОННАЯ МИКРОСКОПИЯ**

Направление подготовки

**03.03.02 – Физика**

Профиль подготовки

**Фундаментальная физика**

Квалификация выпускника

**Бакалавр**

Форма обучения

**Очная**

## **1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы, в формировании которых участвует дисциплина**

В результате освоения дисциплины «Электронная микроскопия» у обучающегося формируются следующие компетенции:

- ПК-1: способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин.
- ПК-2: способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта.

Шифр и название КОМПЕТЕНЦИИ:

**ПК-1: способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин/**

### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

Тип КОМПЕТЕНЦИИ:

**Общепрофессиональная** компетенция выпускника программы бакалавриата по направлению подготовки 03.03.02 Физика.

Для того чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы бакалавриата, должен:

- **ЗНАТЬ:** специфику научного знания, современные проблемы физики, приемы самообразования.
- **УМЕТЬ:** приобретать систематические знания в выбранной области физики, анализировать возникающие в процессе научного исследования проблемы с точки зрения современных научных парадигм, осмысливать и делать обоснованные выводы из новой научной и учебной литературы.
- **ВЛАДЕТЬ:** навыками научного анализа и методологией научного подхода в научно-исследовательской и практической деятельности.

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ (ПК-1) И КРИТЕРИИ ИХ ОЦЕНИВАНИЯ**

<b>Планируемые результаты обучения</b>  (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции)	<b>Критерии оценивания результатов обучения</b>				
	1	2	3	4	5
<b>ЗНАТЬ:</b>  современные проблемы физики, основные методы и методики научно-исследовательской работы.  Шифр: З (ПК-1) -1	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания современных проблем физики, основных методов и методик научно-исследовательской работы	Неполные знания современных проблем физики, основных методов и методик научно-исследовательской работы	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания современных проблемы физики, основных методов и методик научно-исследовательской работы	Сформированные и систематические знания современных проблем физики, основных методов и методик научно-исследовательской работы
<b>УМЕТЬ:</b>  осмысливать информацию и делать обоснованные выводы из новой научной и учебной литературы для использования в научно-исследовательской работе  Шифр: У (ПК-1) -1	Отсутствие умений	Фрагментарное следование основным принципам выбора методов ведения научно-исследовательской работы	В целом успешное, но не систематическое следование основным принципам выбора методов ведения научно-исследовательской работы	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение выбирать эффективные методы ведения научно-исследовательской работы	Успешное и систематическое следование принципам выбора эффективных методов ведения научно-исследовательской работы

<p>УМЕТЬ:</p> <p>применять на практике знания современных проблем и новейших достижений физики,</p> <p>оценивать их эффективность</p> <p>Шифр: У (ПК-1) -2</p>	<p>Отсутствие умений</p>	<p>Частично освоенное умение применять на практике знания современных проблем и новейших достижений физики,</p> <p>оценивать их эффективность</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое умение применять на практике знания современных проблем и новейших достижений физики,</p> <p>оценивать их эффективность</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять на практике знания современных проблем и новейших достижений физики,</p> <p>оценивать их эффективность</p>	<p>Успешное и систематическое использование умения применять на практике знания современных проблем и новейших достижений физики,</p> <p>оценивать их эффективность</p>
<p>ВЛАДЕТЬ:</p> <p>навыками работы с научной и учебной литературой</p> <p>Шифр: В (ПК-1) -1</p>	<p>Не владеет</p>	<p>Фрагментарное владение понятийным аппаратом, не владеет навыками научного анализа при работе с научной и учебной литературой</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое применение навыков научного анализа при работе с научной и учебной литературой,</p> <p>нуждается в помощи преподавателя или научного руководителя</p>	<p>Владеет навыками приобретения умений и знаний при работе с научной и учебной литературой</p>	<p>Свободно владеет понятийным аппаратом и навыками анализа научной и учебной литературой</p>

<p>ВЛАДЕТЬ:</p> <p>методологией научного подхода в научно-исследовательской и практической деятельности, навыками приобретения умений и знаний</p> <p>Шифр: В (ПК-1) -2</p>	<p>Не владеет</p>	<p>Фрагментарное владение методологией научного подхода в научно-исследовательской и практической деятельности</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое применение научного подхода в научно-исследовательской и практической деятельности, навыков приобретения умений и знаний</p>	<p>В целом успешное, но сопровождающееся отдельными ошибками применение навыков научного анализа и методологии научного подхода в научно-исследовательской и практической деятельности, навыков приобретения умений и знаний</p>	<p>Успешное и систематическое применение навыков научного анализа и методологии научного подхода в научно-исследовательской и практической деятельности, навыков приобретения умений и знаний</p>
---	-------------------	--	---	--	---

Шифр и название КОМПЕТЕНЦИИ:

**ПК-2: способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта/**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

Тип КОМПЕТЕНЦИИ:

**Профессиональная** компетенция выпускника программы бакалавриата по направлению подготовки 03.03.02 Физика.

Для того чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы бакалавриата, должен:

- **ЗНАТЬ:** основные стратегии исследований в выбранной области физики.
- **УМЕТЬ:** выделять и систематизировать основные цели исследований в выбранной области физики.
- **ВЛАДЕТЬ:** методами разработки стратегий исследований в выбранной области физики навыками исследований с помощью современной аппаратуры и информационных технологий.

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ (ПК-2) И КРИТЕРИИ ИХ ОЦЕНИВАНИЯ**

<b>Планируемые результаты обучения</b> (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	<b>Критерии оценивания результатов обучения</b>				
	1	2	3	4	5
<b>ЗНАТЬ:</b> методы разработки стратегий исследования в выбранной области физики, критерии эффективности, ограничения применимости Шифр: З (ПК-2) -1	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания методов разработки стратегий исследования в выбранной области физики, критериев эффективности, ограничений применимости	Общие, но не структурированные знания методов разработки стратегий исследования в выбранной области физики, критериев эффективности, ограничений применимости	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания основных методов разработки стратегий исследования в выбранной области физики, критериев эффективности, ограничений применимости	Сформированные систематические знания методов разработки стратегий исследования в выбранной области физики, критериев эффективности, ограничений применимости
<b>УМЕТЬ:</b> анализировать альтернативные варианты стратегий и целей исследований в выбранной области физики, критерии их эффективности и ограничения применимости Шифр: У (ПК-2) -1	Отсутствие умений	Частично освоенное умение анализировать альтернативные варианты стратегий и целей исследований в выбранной области физики, критерии их эффективности и ограничения применимости	В целом успешно, но не систематически осуществляемые анализ альтернативных вариантов стратегий и целей исследований в выбранной области физики, критериев их эффективности и ограничения применимости	В целом успешный, но содержащий отдельные пробелы анализ альтернативных вариантов стратегий и целей исследований в выбранной области физики, критериев их эффективности и ограничения применимости	Сформированное умение анализировать альтернативные варианты стратегий и целей исследований в выбранной области физики, критерии их эффективности и ограничения применимости



<p>УМЕТЬ: самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в выбранной области физики, решать их с помощью современной аппаратуры, и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта</p> <p>Шифр: У (ПК-2) -2</p>	<p>Отсутствие умений</p>	<p>Частично освоенное умение самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в выбранной области физики, решать их с помощью современной аппаратуры, и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта</p>	<p>В целом успешно, но не систематически осуществляемое умение самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в выбранной области физики, решать их с помощью современной аппаратуры, и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в выбранной области физики, решать их с помощью современной аппаратуры, и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта</p>	<p>Сформированное умение самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в выбранной области физики, решать их с помощью современной аппаратуры, и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта; умение оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации различных вариантов</p>
<p>ВЛАДЕТЬ: навыками исследований с помощью современной аппаратуры и информационных технологий</p> <p>Шифр: В (ПК-2) -1</p>	<p>Отсутствие навыков</p>	<p>Фрагментарное применение навыков исследований с помощью современной аппаратуры и информационных технологий</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое применение навыков исследований с помощью современной аппаратуры и информационных технологий</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков исследований с помощью современной аппаратуры и информационных технологий</p>	<p>Успешное и систематическое применение навыков исследований с помощью современной аппаратуры и информационных технологий</p>

<p>ВЛАДЕТЬ: методами разработки стратегий исследований в выбранной области физики</p> <p>Шифр: В (ПК-2) -2</p>	<p>Отсутствие навыков</p>	<p>Фрагментарное применение навыков разработки стратегий исследований в выбранной области физики</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое применение навыков разработки стратегий исследований в выбранной области физики</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков разработки стратегий исследований в выбранной области физики</p>	<p>Успешное и систематическое применение навыков разработки стратегий исследований в выбранной области физики</p>
--	---------------------------	--	--	--	---

## 2. Этапы формирования компетенций

Этап	Лекции	Практика	СРС	Форма контроля
Введение				
Основы электронной оптики	3 (ПК-1) - 1 3 (ПК-2) - 1		3 (ПК-1) - 1 У (ПК-1) - 1 В (ПК-1) - 1 3 (ПК-2) - 1 У (ПК-2) - 1	Коллоквиум
Теория рассеяния электронов	3 (ПК-1) - 1 3 (ПК-2) - 1		3 (ПК-1) - 1 У (ПК-1) - 1 В (ПК-1) - 1 3 (ПК-2) - 1 У (ПК-2) - 1	
Основы электронно-микроскопического контраста	3 (ПК-1) - 1 3 (ПК-2) - 1		3 (ПК-1) - 1 У (ПК-1) - 1 В (ПК-1) - 1 3 (ПК-2) - 1 У (ПК-2) - 1	Коллоквиум
экзамен				
Методика работы на электронном микроскопе				
Методы приготовления объектов для электронно-микроскопического исследования		У (ПК-1) - 1, 2 В (ПК-1) - 1, 2 У (ПК-2) - 1, 2 В (ПК-2) - 1, 2	3 (ПК-1) - 1 У (ПК-1) - 1 В (ПК-1) - 1 3 (ПК-2) - 1 У (ПК-2) - 1	
Электронно-микроскопический и электронографический фазовый анализ		У (ПК-1) - 1, 2 В (ПК-1) - 1, 2 У (ПК-2) - 1, 2 В (ПК-2) - 1, 2	3 (ПК-1) - 1 У (ПК-1) - 1 В (ПК-1) - 1 3 (ПК-2) - 1 У (ПК-2) - 1	Отчет по работе
Электронно-микроскопическое исследование дефектов кристаллической решетки		У (ПК-1) - 1, 2 В (ПК-1) - 1, 2 У (ПК-2) - 1, 2 В (ПК-2) - 1, 2	3 (ПК-1) - 1 У (ПК-1) - 1 В (ПК-1) - 1 3 (ПК-2) - 1 У (ПК-2) - 1	Отчет по работе
зачет				

## 3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения

В курсе «Электронная микроскопия» используется балльно-рейтинговая система оценки знаний. Максимальная сумма баллов по дисциплине составляет 100 баллов за семестр и формируется следующим образом: 20 баллов по результатам текущей аттестации и 80 баллов по результатам промежуточной аттестации – экзамен в первом семестре. Итоговая оценка по дисциплине складывается из суммы баллов, полученной по итогам текущего контроля и промежуточной аттестации (устного экзамена).

Текущая аттестация включает:

активность студента на коллоквиумах: 2 коллоквиума по (0-10 баллов) за каждый, итого 0-20 баллов;

Промежуточная аттестация проводится в форме устного экзамена, который предусматривает дифференцированное оценивание ответа (0-80 баллов). Каждый экзаменационный билет состоит из двух теоретических вопросов, относящихся к различным разделам дисциплины. К экзамену допускаются только студенты, успешно прошедшие текущую аттестацию.

#### **Критерии формирования оценки на промежуточной аттестации (экзамен)**

<b>Количество баллов</b>	<b>Результат, продемонстрированный студентом на экзамене</b>
61-80	Выставляется студенту, твердо знающему материал, грамотно и по существу излагающему его, умеющему применять полученные знания на практике, способному самостоятельно принимать и обосновывать решения, оценивать их эффективность.
51-60	Выставляется студенту, твердо знающему материал, грамотно и по существу излагающему его, умеющему применять полученные знания на практике, но допускающему не критичные неточности в ответе
31-50	Выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно точно формулирующему базовые понятия.
0-30	Выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины

Соответствие рейтинговой оценки по стобалльной шкале пятибалльной шкале:

0-50 балла – «неудовлетворительно»;

51-70 баллов – «удовлетворительно»;

71-80 баллов – «хорошо»;

81-100 баллов – «отлично».

Промежуточная аттестация во втором семестре проводится в форме зачета, который предусматривает написание отчетов по проведенным лабораторным работам (два отчета).

#### **Критерии формирования оценки на промежуточной аттестации (зачет)**

«Зачет» выставляется студенту, сдавшему два отчета;

«Не зачет» выставляется студенту, не сдавшему отчетов.

#### **Распределение текущего контроля по семестру.**

<b>Семестр</b>	<b>Форма контроля</b>	<b>Срок отчетности</b>	<b>Максимальное количество баллов</b>
1	Коллоквиум		20
	Экзамен		80
	Суммарный рейтинг за семестр		100
2	Выполнение лабораторной работы		
	Написание отчета по работе		

## **Вопросы для коллоквиумов.**

### **Коллоквиум № 1:**

1. Почему разрешающая способность электронного микроскопа увеличивается при увеличении энергии электронов (ускоряющего напряжения)? Рассмотреть варианты разрешающей способности в условиях дифракционного и амплитудно-фазового контраста.
2. Какой из видов aberrаций (сферическая, хроматическая или астигматизм) контролирует величину разрешающей способности современных электронных микроскопов? Проанализировать случаи получения изображений кристаллических (дифракционный или амплитудно-фазовый контраст) и аморфных объектов.
3. В каких точках колонны электронного микроскопа (и почему) помещаются апертурная и селекторная диафрагмы?
4. В чем заключается главное отличие в подходе к анализу электронномикроскопических изображений аморфных и кристаллических объектов?
5. Каковы основные приближения кинематической теории дифракционного электронномикроскопического контраста? Как условия формирования такого контраста достигаются практически?

### **Коллоквиум № 2.**

1. Каковы характерные угловые размеры дифракционных максимумов на электронограммах от бездефектного кристалла? Чем они определяются и как связаны с поведением контуров экстинкции при изменении ориентации кристаллических объектов в электронном микроскопе?
2. Как можно практически отличить изгибные контуры экстинкции от толщинных?
3. Каким образом при наличии на электронограммах нескольких интенсивных дифракционных максимумов можно в заданном участке образца получить электронномикроскопическое изображение в двухлучевом приближении, не меняя ориентации объекта в микроскопе?
4. Перечислите не менее 4-х различных типов контраста, которые могут формироваться в кристаллах кристаллическими частицами вторичных фаз.
5. Укажите основное (легко обнаруживаемое без дополнительного анализа) отличие в изображении дислокаций в темном поле при реализации кинематических и динамических условий формирования электронно-микроскопического контраста

Промежуточная аттестация проводится в форме устного экзамена. К экзамену допускаются только те студенты, кто прошел текущую аттестацию. Каждый экзаменационный билет состоит из двух теоретических вопросов. Билеты к экзамену приведены ниже.

### **Билеты к экзамену**

#### **Билет № 1.**

1. Формула Аббе, сферическая aberrация и разрешающая способность электронного микроскопа.
2. Электронно-микроскопический контраст некристаллических объектов. Резерфордский закон рассеяния электронов. Полное сечение рассеяния и критическая эффективная толщина образца.

Билет № 2.

1. Принцип действия электростатической и магнитной линзы. Движение электронов в длинной магнитной линзе – условие фокусировки и его связь со сферической аберрацией.
2. Рассеяние электронов на атоме. Амплитуда атомного рассеяния.

Билет № 3.

1. Ход лучей в электронном микроскопе. Устройство электронной пушки.
2. Рассеяние электронов на элементарной ячейке. Структурный фактор элементарной ячейки.

Билет № 4.

1. Ход лучей в объективной линзе. Принципы формирования дифракционного и амплитудно-фазового контраста.
2. Обратная решетка. Условия Лауэ. Закон Брегга.

Билет № 5.

1. Принцип действия однолинзового и двухлинзового конденсора.
2. Волновая функция и волновой вектор электрона. Преломление электронной волны.

Билет № 6

1. Влияние размеров и формы кристаллов на форму узлов обратной решетки. Угловые размеры дифракционных максимумов.
2. Кинематическая теория электронно-микроскопического контраста. Суть кинематического приближения. Колонковое приближение.

Билет № 7.

1. Геометрия электронограмм. Постоянная прибора. Анализ электронограмм (кольцевых и от монокристаллических объектов).
2. Амплитуда рассеяния на идеальном кристалле. Толщинные и изгибные контуры экстинкции.

Билет № 8.

1. Контраст от несовершенных кристаллов, общее выражение.
2. Контраст от винтовой дислокации, параллельной плоскости фольги – анализ контраста методом амплитудно-фазовых диаграмм и результаты расчета профиля изображения.

Билет № 9.

1. Экстинкционная длина, ее оценка для случая точного Брегговского отражения.
2. Электронно-микроскопический контраст (полосы смещения) от плоских дефектов.

Билет № 10.

1. Типы электронно-микроскопического контраста на частицах вторичных фаз.
2. Амплитудно-фазовый контраст – прямое разрешение кристаллической решетки.

## 4.2. Глоссарий

К промежуточной аттестации студент должен владеть следующей терминологией дисциплины (см. электронную версию лекций, а также электронные образовательные ресурсы к дисциплине).

- Электронные линзы.
- Разрешающая способность.
- Сферическая и хроматическая aberrация.
- Глубина поля и глубина фокуса.
- Волновая функция и волновой вектор электрона.
- Преломление электронной волны
- Резерфордский закон рассеяния.
- Критическая эффективная толщина.
- Амплитуда атомного рассеяния.
- Структурный фактор элементарной ячейки.
- Обратная решетка.
- Условия Лауэ и закон Брэгга.
- Электронная дифракция, сфера Эвальда и постоянная прибора.
- Кинематическая и динамическая теория контраста.
- Экстинкционная длина, толщинные и изгибные контуры экстинкции.
- Изображения в темном и светлом поле.
- Контраст смещения на плоских дефектах.
- Амплитудно-фазовый контраст и электронная микроскопия высокого разрешения.