



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Физический факультет

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
СПЕЦИАЛЬНЫЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ПРАКТИКУМ

Кафедра физики конденсированного состояния и наносистем

Образовательная программа
03.03.02 – Физика

Профиль подготовки:
Фундаментальная физика

Уровень высшего образования:
Бакалавриат

Форма обучения:
Очная

Статус дисциплины:
Вариативная

Махачкала, 2017 год

Рабочая программа дисциплины «Специальный физический практикум» составлена в 2017 году в соответствии с требованиями ФГОС3+ ВО по направлению подготовки **03.03.02 – Физика** (уровень: бакалавриат), профиль подготовки: Фундаментальная физика

Разработчик(и): кафедра физики конденсированного состояния и наносистем,
д.ф.-м.н., профессора Хамидов М.М. и Мурлиева Ж.Х.,
к.ф.-м.н., доцент Гасанов Н.Г., ст. преподаватель Гаджимагомедов С.Х.

Рабочая программа дисциплины одобрена: на заседании кафедры физика конденсированного состояния и наносистем от «25» марта 2017г., протокол №7.

Зав. кафедрой _____ Рабаданов М.Х.

На заседании Методической комиссии физического факультета от «31» марта 2017г, протокол №7.

Председатель _____ Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим управлением «__»
03 04 2017г. _____ Гасангаджиева А.Г.

Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина «Специальный физический практикум» входит в вариативную часть образовательной программы бакалавриата по направлению (специальности) 03.03.02 - физика.

Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой физики конденсированного состояния и наносистем в течение двух семестров: 6 и 8 на 3-м и 4-ом курсах соответственно. Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с физикой конденсированного состояния, а именно, с изучением различных типов кристаллических структур, методов исследования структур, изучением электрических свойств металлов и полупроводников; изучением различных технологических режимов получения ВТСП-керамики методом твердофазного спекания, а так же исследованием ее структуры, морфологии и свойств.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций: общекультурных – ОК-1, общепрофессиональных – ОПК-3, профессиональных – ПК-2, ПК-5.

Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов учебных занятий: Лабораторные занятия, самостоятельная работа.

Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме – отчёт по выполненным работам, итоговый контроль в форме зачёта.

Объем дисциплины **252** часа, **7** зачетных единиц, в том числе в академических часах по видам учебных занятий на 6 и 8 семестры.

Се- местр	Учебные занятия						Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцированный зачет, экзамен)
	в том числе						
	Контактная работа обучающихся с преподавателем					СРС, в том числе экзамен	
	Все- го	из них					
Лек- ции		Лаборатор- ные заня- тия	Практи- ческие занятия	КСР	консультации		
6	108	0	42	0		66	зачёт
8	144	0	90	0		54	зачёт
итого	252	0	132	0		120	зачёт

1. Цели освоения дисциплины

Цель дисциплины: формирование у студентов системы знаний по физике конденсированного состояния, общекультурных и профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОСЗ+ ВО по направлению подготовки 03.03.02 - Физика.

В результате выполнения спецпрактикума на 3 курсе (6 семестр) студенты приобретают знания о реальной структуре кристаллов и методах ее исследования, об источниках и приёмниках рентгеновского излучения, об электрических свойствах металлов и полупроводников и методах их исследования. Помимо повышения теоретических знаний в этих областях, студенты получают практические навыки научных исследований и анализа полученных результатов.

В результате выполнения спецпрактикума на 4 курсе (8 семестр) студенты приобретают знания о технологии получения современных функциональных материалов, в том числе, наноструктурированных и методах исследования их структуры, морфологии, плотности и электрических свойств. Помимо повышения теоретических знаний в этих областях, студенты получают практические навыки научных исследований и анализа полученных результатов.

Выполнение спецпрактикума будет способствовать формированию навыков при решении задач и постановке экспериментов с использованием специального современного оборудования и автоматизированных установок, необходимых для расширения кругозора, понимания и дальнейшего изучения различных разделов физики. В конечном итоге, все это направлено на под-

готовку профессиональных и конкурентоспособных специалистов в области физики конденсированного состояния, способных работать на инженерно-технических должностях в научно-исследовательских лабораториях НИИ, вузов, предприятий.

2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина «Специальный физический практикум» входит в базовую часть дисциплин по выбору образовательной программы бакалавриата по направлению (специальности) 03.03.02 - физика.

Настоящий спецпрактикум предназначен для подготовки бакалавров по направлению «Физика» в соответствии с требованиями, отраженными в государственных образовательных стандартах. Особенность программы состоит в фундаментальном характере изложения дисциплины с целью не только сообщения студентам определенной суммы конкретных сведений, но и формирования у них физического мировоззрения как базы общего естественно - научного и развития соответствующего способа мышления.

Совокупность приобретенных знаний может быть полезной при создании и аттестации эксплуатационных характеристик новых конструкционных материалов.

Наряду с выше изложенным, настоящий спецпрактикум необходим для облегчения усвоения студентами других разделов физики твердого тела.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (перечень планируемых результатов обучения).

3 курс 6 семестр

Компетенции	Формулировка компетенции из ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)
ОК-1	способность использовать основы философских знаний для формирования мировоззренческой позиции (ОК-1);	<u>Знать:</u> основные законы и категории мировоззрения: мироощущение, мировосприятие, миропонимание; <u>Уметь:</u> вырабатывать суждения о различных явлениях, процессах, эффектах, событиях; использовать разнообразные подходы и приемы, позволяющие не только погружаться в детали данной области знаний, но и диагностировать ее целостно. <u>Владеть:</u> когнитивной составляющей (познавательной функцией) научных знаний
ОПК-3	способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач (ОПК-3);	<u>Знать:</u> •теоретические основы, основные понятия, законы и модели общей физики; •базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики; • типы симметрии кристаллов и их структуру; пространственные и кристаллические решётки; кристаллографические обозначения; кристаллографические системы координат; структуры с различным типом связи; •теорию и методику различных рентгеновских методов исследования структуры твёрдых тел • классификацию твёрдых тел по электро-

		<p>проводности и по структуре энергетических зон;</p> <ul style="list-style-type: none"> • принцип работы различных твердотельных электронных приборов <p><u>Уметь:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • понимать, излагать и критически анализировать базовую информацию о реальной структуре твердого тела, влиянии дефектов на его электрофизические свойства; • применять полученные знания в области исследования и расшифровки результатов рентгенографических исследований, а также при интерпретации свойств наносистем: <p><u>Владеть:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • методикой и теоретическими основами анализа экспериментальной и теоретической информации в области рентгенографии кристаллов и их физических свойств, • методами исследования свойств диэлектриков, полупроводников и металлов.
ПК-2	<p>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 (ПК-2);</p>	<p><u>Знать:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • основы методов рентгеноструктурного анализа; методы исследования монокристаллов и поликристаллов; • методы исследования электропроводности, подвижности и концентрации носителей заряда, а также ширину запрещенной зоны; <p><u>Уметь:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • пользоваться современной приборной базой для проведения экспериментальных и теоретических физических исследований структуры и свойств материалов, в том числе, наноструктурированных; • анализировать устройство используемых приборов и принципов их действия, приобрести навыки выполнения физических измерений, проводить обработку результатов измерений с использованием статистических методов и современной вычислительной техники; <p><u>Владеть:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками исследования физических процессов, протекающих в твердых телах в различных средах; • навыками проведения научных исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта;

ПК-5	<p>способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований (ПК-5);</p>	<p><u>Знать:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> •современные методы обработки, анализа и синтеза физической информации; •различные методы исследования структуры; виды дефектов структуры и методы их исследований; <p><u>Уметь:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> •пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в области исследования структуры и свойств; •применять полученные знания при решении задач на лабораторных занятиях; •применять полученные теоретические знания при решении конкретных задач при исследованиях свойств материалов со сложной структурой; •проводить научные исследования в области прогнозирования свойств новых функциональных материалов с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта; <p><u>Владеть:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> •навыками решения задач для описания зависимости поведения свойств веществ от структуры и типа межатомной связи; •современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в области физики конденсированных сред; •навыком прогнозирования срока службы изделий из данного материала, в том числе, керамики в различных температурных режимах и средах.
------	--	---

4 курс 8 семестр

Компетенции	Формулировка компетенции из ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)
ОК-1	<p>способность использовать основы философских знаний для формирования мировоззренческой позиции (ОК-1);</p>	<p><u>Знать:</u></p> <p>основные законы и категории мировоззрения: мироощущение, мировосприятие, миропонимание;</p> <p><u>Уметь:</u></p> <p>вырабатывать суждения о различных явлениях, процессах, эффектах, событиях; использовать разнообразные подходы и приемы, позволяющие не только погружаться в детали данной области знаний, но и диагностировать ее целостно.</p> <p><u>Владеть:</u> когнитивной составляющей (познавательной функцией) научных знаний</p>

<p>ОПК-3</p>	<p>способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач (ОПК-3);</p>	<p><u>Знать:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - теоретические основы, основные понятия, законы и модели общей физики; - основные свойства сверхпроводников; - основные понятия, и законы курса общей химии; - основные технологии получения керамики методом твердофазного спекания; - основы методов получения: нанопорошков; - методы оценки плотности образцов. <p><u>Уметь:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - проводить количественные расчеты химических реакций для твердофазного метода и метода сжигания глицин-нитратных прекурсоров; - получать нанопорошки и нанокерамику; - реализовать метод гидростатического взвешивания для оценки плотности образцов; - применять полученные знания в области исследования и расшифровки результатов рентгенографических исследований; <p><u>Владеть:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - технологиями получения нанопорошков, микро- и нано керамики; - методами исследования структуры и свойств полученных материалов.
<p>ПК-2</p>	<p>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 (ПК-2);</p>	<p><u>Знать:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • основные методы получения керамики методом твердофазного спекания; методом компактирования; - основные методы получения: нанопорошков; - кристаллографические системы координат; структуры с различным типом связи; - принцип работы рентгеновского дифрактометра; - принцип работы сканирующего электронного микроскопа; - принцип работы прессы и программируемых высокотемпературных печей; - основы методов исследования электросопротивления керамики; - работу установки для исследования электросопротивления при низких температурах; - метод нанесения омических контактов. <p><u>Уметь:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • готовить порошки для твердофазного спекания и осуществлять полный технологический цикл; - получать нанопорошки различной дисперсности и нанокерамику; - проверять керамику на наличие эффекта Мейснера ; - проводить исследования плотности и пористости керамики;

		<ul style="list-style-type: none"> - проводить фазовый анализ материалов; - применять полученные знания в области исследования и расшифровки результатов рентгенографических исследований; - проводить исследования на установке для исследования электросопротивления при низких температурах; - наносить контакты и проверять их омичность. <p><u>Владеть:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - технологиями получения нанопорошков, микро- и нано- керамики; - методами термообработки и насыщения порошков кислородом; - методами исследования структуры и свойств полученных материалов. - методом исследования сопротивления 4х-зондовым способом; - навыками проведения научных исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта.
ПК-5	<p>способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований (ПК-5);</p>	<p><u>Знать:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • современные методы обработки, анализа и синтеза физической информации; • различные методы исследования структуры; виды дефектов структуры и методы их исследований; <p><u>Уметь:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в области исследования морфологии, структуры и свойств; • применять полученные теоретические знания при решении конкретных задач при исследованиях свойств материалов со сложной структурой; • проводить научные исследования в области прогнозирования свойств новых функциональных материалов с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта; <p><u>Владеть:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками расшифровки дифрактограмм, определения размера наночастиц; свойств веществ в зависимости от условий термообработки и кислородной стехиометрии и структуры; - современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в области физики конденсированных сред.

4. Объем, структура и содержание дисциплины.

6 семестр

4.1. 1. Объем дисциплины составляет 3 модуля, 108 академических часов.

4.2. 1. Структура дисциплины.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учеб. раб., включая самост. раб. студ. и трудо- емкость (в часах)				Форма текущего контроля успева- емости. (по неделям се- местра.) Форма промежу- точной аттеста- ции (по неделям се- местра)
				Трудо- емкость, час	Лекции	Лаборн. зан.	самост. работа	
Модуль 1								
1.	Рентгеновские аппараты. Типы конструкций рентгеновских трубок. Спектр в рентгеновском диапазоне. Поглощение и рассеяние рентгеновских лучей в веществе.	6	2	6	0	2	4	Опрос и письменный отчёт о выполненной работе
2	Основные дифракционные схемы в представлении обратной решетки: метод Лауэ, метод порошка, метод вращения (качания), методы широко расходящегося пучка, дифрактометрия поликристаллического объекта и монокристалла.	6	3	10	0	4	6	Опрос и письменный отчёт о выполненной работе
3	Интенсивность рентгеновских рефлексов. Рассеяние одной элементарной ячейкой. Структурная амплитуда, вывод общего выражения	6	4	10	0	4	6	Опрос и письменный отчёт о выполненной работе
4	Этапы анализа неизвестной структуры. Последовательность применения различных схем съемки при определении сингонии, решетки Браве, точечной и пространственной групп, числа атомов в элементарной ячейки.	6	5	10	0	4	6	Опрос и письменный отчёт о выполненной работе
Итого по модулю 1				36	0	14	22	
Модуль 2								

5	Экспериментальные и расчетные методы определения координат атомов в ячейке.	6	6	9	0	4	5	Опрос и письменный отчет о выполненной работе
6	Элементы заной теории твердых тел. Классификация твердых тел позоной теории. Классическая теория электропроводности. Собственная и примесная проводимость и их температурные зависимости	6	7	9	0	4	5	Опрос и письменный отчет о выполненной работе
7	Распределение Фермы и эффективная плотность распределения носителей заряда. Степень заполнения энергетических уровней.	6	8	9	0	4	5	Опрос и письменный отчет о выполненной работе
8	Эффект Холла, Методы определения концентрации и типа носителей заряда в полупроводниках.	6	9	9	0	4	5	Опрос и письменный отчет о выполненной работе
Итого по модулю 2				36	0	16	20	
Модуль 3								
9	p-n переход. Зависимость энергетического барьера перехода от полярности приложенного поля. Вольт-амперная характеристика перехода. Эффект выпрямления	6	14	12	0	4	8	Опрос и письменный отчет о выполненной работе
10	Оптические свойства полупроводников . Фотопроводимость. Определение ширины запрещенной зоны полупроводника оптическими методами.	6	15	12	0	4	8	Опрос и письменный отчет о выполненной работе
11	Подготовка и приём зачётов	6	16	12	0	4	8	Устный опрос
Итого по модулю 3				36	0	12	24	
Итого				108	0	42	66	Зачёт

4 курс 8 семестр

4.1.2. Объем дисциплины на 4 курсе составляет 4 модуля, 144 академических часов.

4.2.2. Структура дисциплины.

№	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учеб. раб., включая самост. раб. студ. и трудоемкость (в часах)	Форма текущего контроля успеваемости.
---	-------------------	---------	-----------------	--	---------------------------------------

п/п				Трудоёмкость, час	Лекции Лаборн.зан.	самост. работа	(по неделям семестра.) Форма промежуточной аттестации (по неделям семестра)
Модуль 1. Изучение лабораторного оборудования							
1.	Изучение работы рентгеновского дифрактометра PANanalytical. «Empyreanseries 2» и способа подготовки образцов для исследования.	8	1	-	8	4	Опрос и письменный отчёт о выполненной работе
2	Изучение работы настольного сканирующего электронного микроскоп-анализатора ASPEXExpress и Спектрометра EDX 800 HS		2		8	4	
3	Изучение работы камерной программируемой высокотемпературной печи LF-1514 и профилометра П300	8	3	-	8	4	Опрос и письменный отчёт о выполненной работе
Итого по модулю 1				36	24	12	Отчет
Модуль 2. Изучение методик исследования и экспериментальных установок							
4	Изучение работы гидравлического пресса «ОМА 665-666» (WERTHERINTERNATION).	8	4	-	8	4	Опрос и письменный отчёт о выполненной работе
5	Изучение методов и экспериментальных установок для исследования электрических свойств керамических образцов.		5		8	5	
6	Изучение метода насыпной плотности порошков; плотности, пористости и водопоглощения керамик методом гидростатического взвешивания.		6		6	5	
Итого по модулю 2				36	22	14	Отчет

Модуль 3. Получение ВТСП-керамики YBCO методом твердофазного спекания микронных порошков с оптимальной кислородной стехиометрией								
7	Изучение метода твердофазного спекания керамики. Расчет навесок. Синтез и спекание керамики.	8	7-8			12	7	Опрос
8	Насыщение образцов кислородом. проверка эффекта Мейснера. Изучение дифрактограмм и фазовый анализ.	8	9-10			10	7	Результаты исследований.
Итого по модулю 3				36		22	14	Отчёт
Модуль 4. Исследование структуры, морфологии и электрических свойств ВТСП-керамики								
10	Изучение дифрактограмм и морфологии керамики. Измерения плотности керамики	8				6	4	Результаты исследований.
11	Исследования электросопротивления керамики в вакууме от азотных до комнатных температур.	8				8	5	Результаты исследований.
12	Исследования электросопротивления и теплового расширения керамики от комнатных температур.	8				8	5	Результаты исследований.
Итого по модулю 4		8		36		22	14	Отчёт
Итого				144		90	54	Зачёт

4.3. Лабораторный практикум

4.3.1. 3 курс (6 семестр)

Номер работ	Наименование лабораторных работ	Всего часов
Модуль 1		
1	Изучение рентгеновского дифрактометра Empyrean	2
2	Исследование характеристического рентгеновского излучения	4
3	Установление вещества по данным о межплоскостных расстояниях (дифрактометрический метод)	4
4	Определение параметра элементарной ячейки кристаллов с кубической решёткой	4
Модуль 2		
5	Исследование состава твёрдого раствора с помощью рентгеновского дифрактометра	4

6	Определение ширины запрещённой зоны полупроводника	4
7	Исследование электропроводности полупроводника	4
8	Исследование электропроводности металла	4
Модуль 3		
9	Изучение работы p-n - перехода	4
10	Эффект Холла в примесных полупроводниках	4
	Приём зачёта	4

4.3.2. 4 курс (8 семестр)

Номер работ	Наименование лабораторных работ	Всего часов
Модуль 1		
1	Изучение работы рентгеновского дифрактометра Подготовка образцов для исследования на дифрактометре (порошки, керамика).	4
2	Расшифровка дифрактограммы эталонного образца монокристалла $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$: определение параметров элементарной ячейки $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ - кристалла с перовскитоподобной решёткой, фазового состава,	4
3	Расчет размеров кристаллитов по полуширине пиков.	4
4	Изучение работы настольного сканирующего электронного микроскоп-анализатора ASPEXExpress	4
5	Изучение работы спектрометра EDX 800 HS	4
6	Изучение работы профилометра и режимов камерной программируемой высокотемпературной печи LF-1514	4
Модуль 2		
6	Изучение работы гидравлического пресса «ОМА 665-666» (WERTHERINTERNATION и пробное прессование эталонных порошков.	8
7	Изучение метода и экспериментальной установки для одновременного исследования электросопротивления и теплового расширения керамических образцов.	4
8	Изучение метода и автоматизированной экспериментальной установки для исследования электросопротивления керамических образцов в вакууме от азотных температур.	4
9	Изучение метода гидростатического взвешивания.	2
10	Определение насыпной плотности порошков; плотности, пористости и водопоглощения керамик.	4
Модуль 3		
11	Изучение метода и получение керамики методом твердофазного спекания. Расчет и взвешивание навесок.	4
12	Прессование, синтез и спекание керамики различной плотности.	8
13	Термообработка и насыщения образцов кислородом.	6
14	Проверка эффекта Мейснера. Изучение дифрактограмм и фазовый анализ керамических образцов.	4
Модуль 4		
15	Изучение дифрактограмм и морфологии полученной керамики. Измерения плотности керамики	6
16	Исследования электросопротивления полученных образцов керамики в вакууме от азотных до комнатных температур.	4
17	Одновременные исследования (<i>insitu</i>) электросопротивления и теплового расширения полученных образцов керамики методом кварцевого	8

	дилатометра от азотных до комнатных температур .	
18	Анализ результатов исследования, оценка погрешностей, пересчет значений на нулевую пористость.	4

5. Образовательные технологии:

В соответствии с требованиями ФГОС 3+ВОреализация компетентностного подхода дисциплины предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (компьютерных симуляций, разбор конкретных ситуаций) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся. В течение семестра студенты последовательно решают проблемы согласно разработанному плану. Зачет выставляется после выполнения всех лабораторных работ, обработки и анализа экспериментальных данных. Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, определяется главной целью программы, особенностью контингента обучающихся, и, в целом, в учебном процессе по данной дисциплине они в часах должны составлять не менее 30% от общего количества часов аудиторных занятий.

Для выполнения физического практикума и подготовке к практическим (семинарским) занятиям изданы учебно-методические пособия и разработки, которые в сочетании с внеаудиторной работой способствуют формированию и развития профессиональных навыков обучающихся. В процессе лабораторного практикума используется умение студентов производить расчеты с помощью средств вычислительной техники, что позволяет существенно приблизить уровень статистической культуры обработки результатов измерений в практикуме к современным стандартам, принятым в науке и производственной деятельности. На этих занятиях студенты закрепляют навыки (приобретенные на 1-2 курсах) по использованию статистических методов обработки результатов наблюдений, что совершенно необходимо для работы в специальных учебных и производственных лабораториях.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа является важнейшим компонентом образовательного процесса, формирующим личность студента, развивающим его способности к самообучению и повышению своего профессионального уровня.

Самостоятельная работа заключается в изучении отдельных тем курса по заданию преподавателя по рекомендуемой им учебной литературе, в подготовке к лабораторному практикуму, в выполнении домашнего задания выданного на практических занятиях, в широком использовании информационных технологий для выполнения поставленной задачи.

Для облегчения самостоятельной работы студентов, наряду с рекомендованной основной и дополнительной литературой, издано учебное пособие «Рентгенодифракционные методы исследования кристаллов», «Получение нанопорошков $Y(Ba_{1-x}V_e_x)_2Cu_3O_{7-\delta}$ методами химической технологии».

Самостоятельная работа студентов, предусмотрена учебным планом в объеме не менее 50%, в том числе подготовка к экзаменам и зачетам, от общего количества часов. Она необходима для более глубокого усвоения изучаемого курса, формирования навыков исследовательской работы и умение применять теоретические знания на практике. Самостоятельная работа должна носить систематический характер. Результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем и учитываются при аттестации студента (зачет). При этом проводятся: тестирование, экспресс-опрос, проверка письменных работ и т.д.

Самостоятельная работа студентов реализуется в виде:

- повторения пройденного материала;
- подготовки к лабораторно-практическим работам;
- оформления лабораторно-практических работ (заполнение таблиц, решение задач, написание выводов);
- выполнения индивидуальных заданий по основным темам дисциплины;

- написания рефератов по проблемам дисциплины "Физика конденсированного состояния".

Примерные вопросы для самостоятельной работы по дисциплине.

3 курс.

Модуль 1

1. Узловая прямая.
2. Кристаллографическая плоскость.
3. Элементарная ячейка.
4. Постоянные решетки.
5. Виды симметрических преобразований.
6. Рентгеновские аппараты.
7. Типы конструкций рентгеновских трубок.
8. Спектр в рентгеновском диапазоне.
9. Поглощение и рассеяние рентгеновских лучей в веществе.
10. Линейные коэффициенты поглощения, зависимость от длины волны и атомного номера.
11. Избирательное поглощение и фильтры
12. "Геометрическая" теория дифракции на трехмерной решетке рассеивающих центров.
13. Уравнение Вульфа-Брэгга.

Модуль 2

14. Основные дифракционные схемы в представлении обратной решетки: метод Лауэ, метод порошка, метод вращения (качания), методы широко расходящегося пучка, дифрактометрия поликристаллического объекта и монокристалла.
15. Интенсивность рентгеновских рефлексов.
16. Рассеяние одной элементарной ячейкой.
17. Структурная амплитуда, вывод общего выражения
18. Этапы анализа неизвестной структуры.
19. Последовательность применения различных схем съемки при определении сингонии, решетки Браве, точечной и пространственной групп, числа атомов в элементарной ячейки.
20. Экспериментальные и расчетные методы определения координат атомов в ячейке.
21. Каков механизм проводимости полупроводников?
22. Какова связь проводимости и подвижности носителей заряда?
23. Какова природа эффекта Холла? Определить постоянную Холла.
24. Каковы основные типы химической связи?
25. Какие предположения составляют основу зонного приближения?
26. Каковы основные отличия энергетических спектров металлов и полупроводников?
27. Как формируются мелкие примесные уровни?

Модуль 3

28. Что такое плотность квантовых состояний?
29. Какова зависимость плотности квантовых состояний от энергии?
30. Распределение Ферми-Дирака для равновесных электронов и дырок. Уровень Ферми.
31. Получить общие формулы для концентраций равновесных электронов и дырок.
32. Положение уровня Ферми в собственном полупроводнике.
33. Каковы основные механизмы поглощения электромагнитных волн?
34. Каковы основные типы междузонного поглощения?
35. Что представляет собой экситонное поглощение?
36. Как возникают и проявляются контактные явления в полупроводниках?
37. Почему возникают потенциальные барьеры?
38. Каковы основные характеристики прохождения тока через p- n- переход?

4 курс**Модуль 1 Изучение лабораторного оборудования**

1. Изучение работы рентгеновского дифрактометра
2. Метод определения параметров решетки.
3. Метод Дебая-Шерера определения размеров кристаллитов.
4. Изучение описания к настольному сканирующему электронному микроскоп-анализатору ASPEXExpress.
5. Изучение описания к спектрометру EDX 800 HS
6. Изучение описания к профилометру и программируемой высокотемпературной печи.

Модуль 2. Изучение методик исследования и экспериментальных установок

1. Изучение описания к гидравлическому прессу.
2. Изучение метода одновременного исследования.
3. электросопротивления и теплового расширения твердых тел.
4. Изучение метода исследования электросопротивления керамических образцов в вакууме от азотных температур.
5. Основы метода гидростатического взвешивания.

Модуль 3. Получение ВТСП-керамики YBCO методом твердофазного спекания микронных порошков с оптимальной кислородной стехиометрией

1. Изучение метода получения керамики методом твердофазного спекания.
2. Изучение основных свойств сверхпроводников первого и второго рода. Эффект Мейснера-Оксенфельда.
3. Особенности формирования и механизмы проводимости в полупроводниковых и сверхпроводящих материалах.

Модуль 4. Исследование структуры, морфологии и электрических свойств ВТСП-керамики

1. Расчеты плотности и пористости образцов.
2. Расчеты эффективных значений электросопротивления пористых образцов.
3. Анализ результатов исследования электросопротивления, оценка погрешностей, пересчет значений на нулевую пористость
4. Составление отчета по проделанным исследованиям.

7. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.**

Перечень компетенций с указанием этапов их формирования приведен в описании образовательной программы.

Компетенция	Знания, умения, навыки	Процедура освоения
ОК-1	Знать: <ul style="list-style-type: none"> • основные законы и категории мировоззрения: мироощущение, мировосприятие, миропонимание; • Уметь: • вырабатывать суждения о различных явлениях, процессах, эффектах, событиях; • использовать разнообразные подходы приемы, позволяющие не только погружаться в детали данной области знаний, но и обобщать, и диа- 	Устный опрос

	<p>гностировать ее целостно.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Владеть: • когнитивной составляющей (познавательной функцией) научных знаний. 	
ОПК-3	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Знать:</u> • теоретические основы, основные понятия, законы и модели общей физики; • базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики; • типы симметрии кристаллов и их структуру; пространственные и кристаллические решётки; кристаллографические обозначения; кристаллографические системы координат; структуры с различным типом связи; • классификация твёрдых тел по электросопротивлению и по ширине запрещённой зоны; собственная и примесная проводимости полупроводника; гальваномагнитные эффекты в полупроводниках; температурная зависимость электропроводности в металлах и полупроводниках; образование электронно-дырочного перехода; зависимость уровня Ферми от температуры и концентрации примеси в полупроводниках; • основные свойства сверхпроводников; • основные понятия, и законы курса общей химии; • основные технологии получения керамики методом твердофазного спекания; • основы методов получения: нанопорошков; • методы оценки плотности образцов. <p><u>Уметь:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • понимать, излагать и критически анализировать базовую информацию об идеальной и реальной структуре твердого тела, влиянии дефектов на его механические и электрические свойства; • применять полученные знания в области исследования и расшифровки результатов рентгенографических исследований, а также при интерпретации свойств наносистем; • проводить количественные расчеты химических реакций для твердофазного метода и метода сжигания глицин-нитратных прекурсоров; • получать нанопорошки и нанокерамику; • реализовать метод гидростатического взвешивания для оценки плотности образцов; • применять полученные знания в области исследования и расшифровки результатов рентгенографических исследований. <p><u>Владеть:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • теоретическими основами и методикой экс- 	Устный опрос, письменный опрос

	<p>периментальных исследований структуры и свойств твердых тел;</p> <ul style="list-style-type: none"> • методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации в области кристаллографии и электрофизических свойств; • технологиями получения нанопорошков, микро- и нано керамики; • методами исследования структуры и свойств полученных материалов. 	
ПК-2	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основы метода рентгеноструктурного анализа; методы исследования монокристаллов, поликристаллов и наноструктур; • основные методы получения керамики методом твердофазного спекания; методом компактирования; <p>- основные методы получения: нанопорошков;</p> <p>- принцип работы рентгеновского дифрактометра, сканирующего электронного микроскопа; пресса и программируемых высокотемпературных печей;</p> <p>- основы методов исследования электросопротивления керамики;</p> <p>- работу установки для исследования электросопротивления при низких температурах;</p> <p>- метод нанесения омических контактов</p> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • пользоваться современной приборной базой для проведения экспериментальных и теоретических физических исследований структуры и свойств материалов, в том числе, наноструктурированных; • анализировать устройство используемых приборов и принципов их действия, приобрести навыки выполнения физических измерений, проводить обработку результатов измерений с использованием статистических методов и современной вычислительной техники; • готовить порошки для твердофазного спекания и осуществлять полный технологический цикл; • получать нанопорошки различной дисперсности и нанокерамику; • проверять керамику на наличие эффекта Мейснера ; • проводить исследования плотности и пористости керамики; • проводить фазовый анализ материалов; 	Устный опрос, письменный опрос

	<ul style="list-style-type: none"> • применять полученные знания в области исследования и расшифровки результатов рентгенографических исследований; • проводить исследования на установке для исследования электросопротивления при низких температурах; • наносить контакты и проверять их омичность. <p><u>Владеть:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками исследования физических процессов, протекающих в твердых телах в различных средах; • навыками проведения научных исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта; • способностью анализировать влияния структуры на особенности физических свойств и прогнозировать свойства реальных тел, в том числе наноструктурированных. • технологиями получения нанопорошков, микро- и нано- керамики; • методами термообработки и насыщения порошков кислородом; • методами исследования структуры и свойств полученных материалов. • методом исследования сопротивления 4х-зондовым способом; • навыками проведения научных исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта 	
ПК-5	<p><u>Знать:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • современные методы обработки, анализа и синтеза физической информации; • различные методы исследования структуры; виды дефектов структуры и методы их исследований; <p><u>Уметь:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в области исследования структуры, морфологии и механических свойств; • применять полученные знания при решении задач при исследованиях свойств 	Устный опрос, письменный опрос

	<p>материалов со сложной структурой; на выступлениях, на семинарских занятиях;</p> <ul style="list-style-type: none"> • применять полученные теоретические знания при решении конкретных задач при исследованиях свойств материалов со сложной структурой; • проводить научные исследования в области прогнозирования свойств новых функциональных материалов с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта; <p><u>Владеть:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • навыками решения задач для описания зависимости поведения свойств веществ от структуры и типа межатомной связи; навыками расшифровки дифрактограмм, определения размера наночастиц; свойств веществ в зависимости от условий термообработки и кислородной стехиометрии и структуры; • современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в области физики конденсированных сред; • навыком прогнозирования срока службы изделий из данного материала, в том числе, керамики в различных температурных режимах и средах. 	
--	---	--

7.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания.

ОК-1.

Схема оценки уровня формирования компетенции «Способностью использовать основы философских знаний для формирования мировоззренческой позиции»

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала		
		Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Пороговый	Представление о наиболее общих законах, категориях и принципах, по которым происходят процессы в обществе и физическом мире. Формировать мировоззрение, позволяющее всесторонне изучать и систематизировать различную инфор-	Ознакомлен с фундаментальными законами и категориями философии.	Демонстрирует: реалистическое мироощущение, мировосприятие, миропонимание.	Показывает навыки успешного использования базовых знаний по философии для решения перспективных исследовательских разработок.

	мацию и из нее получать знания.			
--	---------------------------------	--	--	--

ОПК-3

Схема оценки уровня формирования компетенции «Способностью использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач».

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала		
		Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Пороговый	Представление способности использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач.	Ознакомлен с базовыми теоретическими знаниями фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач.	Демонстрирует хорошие знания базовых теоретических знаний фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач.	Показывает навыки успешного использования базовых теоретических знаний фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач.

ПК-2

Схема оценки уровня формирования компетенции «Способностью 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».

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала		
		Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Пороговый	Проведение научных исследований 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.	Ознакомлен с проведением научных исследований в 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.	Демонстрирует знания проведения научных исследований 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.	Показывает навыки успешного проведения научных исследований 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.

ПК-5

Схема оценки уровня формирования компетенции «Способностью пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований».

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала		
		Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Пороговый	Представление использования современных методов обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований	Ознакомление с использованием современных методов обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований	Демонстрирует умение пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований	Показывает умение пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований

Если хотя бы одна из компетенций не сформирована, то положительная оценки по дисциплине быть не может.

7.3. Типовые контрольные тестовые задания

7.4. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Примерная оценка по 100 бальной шкале форм текущего и промежуточного контроля

Общий результат выводится как интегральная оценка, складывающаяся из текущего контроля - 50% и промежуточного контроля - 50%.

Лекции - Текущий контроль включает:

- посещение занятий __ 10 __ бал.
- активное участие на лекциях __ 15 __ бал.
- устный опрос, тестирование, коллоквиум __ 60 __ бал.
- и др. (доклады, рефераты) __ 15 __ бал.

Практика (р/з) - Текущий контроль включает:

(от 51 и выше - зачет)

- посещение занятий __ 10 __ бал.
- активное участие на практических занятиях __ 15 __ бал.
- выполнение домашних работ __ 15 __ бал.
- выполнение самостоятельных работ __ 20 __ бал.
- выполнение контрольных работ __ 40 __ бал.

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.

Основная литература:

(6 семестр)

1. Шаскольская М.П. Кристаллография: Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1984, 376с.
2. Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. М.: Металлургия, 1982. 632 с.
3. Русаков А.А. Рентгенография металлов: Учебник для вузов. М.: Атомиздат, 1977. 480 с.
4. Киреев П.С. Физика полупроводников. М.: Высшая школа, 1975
5. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.: Наука, 1990.
6. Шалимова К.В. Физика полупроводников. М.: Энергоатомиздат, 1985.
7. Стильбанс Л.С. Физика полупроводников. – М.: Советское радио, 1967

Дополнительная литература:

8. Миркин Л.И. Рентгеноструктурный контроль машиностроительных материалов: Справочник. М.: Изд-во МГУ, 1976. 140 с.
9. Миркин Л.И. Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов. М.: Физматгиз, 1961. 863 с.
10. Горелик С.С., Скаков Ю.А., Расторгуев Л.Н., Рентгенографический и электроннооптический анализ. М.: МИСиС, 1994. 328 с.
11. Я.С. Уманский. Рентгенография металлов и полупроводников. М., 1969
12. Исаенкова М.Г., Перлович Ю.А., Скрытний В.И., Соколов Н.А., Яльцев В.Н. Рентгеновская дифрактометрия: Учеб. пособие. - М.: МИФИ, 2007. - 60с.
13. Векилова Г.В., Иванов А.Н., Ягодкин Ю.Д. Дифракционные и микроскопические методы и приборы для анализа наночастиц и наноматериалов: Учеб. пособие. - М.: Изд. Дом МИСиС, 2009. - 145с.
14. Рабаданов М.Х. Гасанов Н.Г., Эмиров Р. М. Рентгенодифракционные методы исследования кристаллов/ Учебное пособие. – Махачкала: ИПЦ ДГУ, 2014 . – 118 с.
15. Орешкин П.Т. Физика полупроводников и диэлектриков. - М.: Высшая школа, 1977.
16. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников. М.: Лань, 2008.

(8 семестр)

Основная литература:

1. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела./ Учебник. – М.:Ozon, 2015, 496 с.
2. Шмидт В.В. Введение в физику сверхпроводников. – М.: МЦНМО, 2000, 402 с.
3. Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. М.: Металлургия, 1982. 632 с.
4. П. Швейкин, В.А. Губанов, А.А. Фотиев, Г.В. Базуев, А.А. Евдокимов Электронная структура и физико-химические свойства высокотемпературных сверхпроводников. /Г. – М.: Наука, 1990. – 239 с.
5. Алымов, М.И. Порошковая металлургия нанокристаллических материалов. – М.: Наука, 2007. – 169с.
6. Алымов, М.И. Конструкционные порошковые материалы/М.И.Алымов // Композиты и наноструктуры – 2010.– №2.–С. 5-11

Дополнительная литература:

7. Новые материалы./ Под ред. Ю.С. Карабасова, М.: МИСИС, -2002. -736 с.
8. Векилова Г.В., Иванов А.Н., Ягодкин Ю.Д. Дифракционные и микроскопические методы и приборы для анализа наночастиц и наноматериалов: Учеб. пособие. - М.: Изд. Дом МИСиС, 2009. - 145с.
9. Рабаданов М.Х. Гасанов Н.Г., Эмиров Р. М. Рентгенодифракционные методы исследования кристаллов/ Уч. пособие. – Махачкала: ИПЦ ДГУ, 2014 . – 118 с.
10. Исаенкова М.Г., Перлович Ю.А., Скрытний В.И., Соколов Н.А., Яльцев В.Н. Рентгеновская дифрактометрия: Учеб. пособие. - М.: МИФИ, 2007. - 60с.
11. Сафаралиев Г.К., Палчаев Д.К., Пашук Е.Г. Технология и физические свойства керамики. – Махачкала: ИПЦ ДГУ, 1986 . – 27с.

9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

1. Государственная публичная научно-техническая библиотека. www.gpntb.ru
2. Библиотека учебной и методической литературы www.window.edu.ru/
3. Международная база данных Scopus по разделу физика столкновений и элементарные процессы <http://www.scopus.com/home.url>
4. Научные журналы и обзоры издательства Elsevier по тематике элементарные процессы <http://www.sciencedirect.com/>
5. Ресурсы Российской электронной библиотеки www.elibrary.ru, включая научные обзоры журнала Успехи физических наук www.ufn.ru

6. Региональный ресурсный Центр образовательных ресурсов <http://rrc.dgu.ru/>
 7. Электронные ресурсы Издательства «Лань» <http://e.lanbook.com/>

10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

Перечень учебно-методических материалов, предоставляемых студентам во время занятий:

- рабочие тетради студентов;
- наглядные пособия;
- словарь терминов по физике твёрдого тела;
- тезисы лекций,

Самостоятельная работа студентов:

- проработка учебного материала (по конспектам лекций учебной и научной литературе) и подготовка докладов на семинарах и практических занятиях;
- поиск и обзор научных публикаций и электронных источников по тематике дисциплины;
- выполнение курсовых работ (проектов);
- написание рефератов;
- работа с тестами и вопросами для самопроверки;

11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.

1. Программное обеспечение для лекций: MS PowerPoint (MS PowerPointViewer), AdobeAcrobatReader, средство просмотра изображений, табличный процессор.
2. Программное обеспечение в компьютерный класс: MS PowerPoint (MS PowerPointViewer), AdobeAcrobatReader, средство просмотра изображений, Интернет, E-mail.

Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Выполнение первого модуля спецпрактикума **3 курсе** осуществляется на уникальном по своим возможностям, многоцелевом рентгеновском дифрактометре с вертикально расположенным гониометром высокого разрешения, для научных исследований и аналитического контроля в промышленности-**Empyrean**.

Работы второго и третьего модулей выполняются на модульных учебных комплексах МУК ТТ-1 и МУК ТТ-2. Обработку экспериментальных результатов осуществляется с помощью специальных компьютерных программ.

Выполнение первого модуля спецпрактикума **4 курсе** осуществляется на многоцелевом рентгеновском дифрактометре Empyrean; сканирующем электронном микроскоп-анализатореASPEXExpress; спектрометре EDX 800 HS, профилометре и программируемой высокотемпературной печи.

Работы второго, третьего и четвертого модулей выполняются в технологическом участке НОЦ «Нанотехнологии» с необходимыми реактивами, бидистилляторомGFL 21042104, оснащенным вытяжкой и другим современным измерительным и технологическим оборудованием; в физических лабораториях, оснащенных автоматизированными экспериментальными установками для исследования электросопротивления, реализующими 4-х зондовый метод (с мультиметром фирмы «Кейтли») и метод кварцевого дилатометра (автоматизированная установка для исследования электросопротивления и теплового расширения при низких температурах). Обработка экспериментальных результатов осуществляется с помощью специальных компьютерных программ.