ГОУ ВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФАКУЛЬТЕТ ФИЗИКО - ТЕХНИЧЕСКИЙ

Кафедра теоретической физики и нанотехнологий

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научно-методической

и учебной работе

_____Е.И.Скафа

“__21____”_____декабря____2016г.

МП

Рабочая программа учебной дисциплины

«НОВЫЕ МАГНИТНЫЕ, ОПТИЧЕСКИЕ И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ»

Направление подготовки: **03.03.02 «ФИЗИКА»**

Профиль подготовки: Общий

Образовательный уровень выпускника: Академический бакалавриат

Форма обучения: очная

Донецк 2016

УТВЕРЖДАЮ:
Декан физико-технического факультета
_____ Малюк Н.Г.
«__16__» _____декабря_____ 2016 г.

М.П.

Программа учебной дисциплины **«НОВЫЕ МАГНИТНЫЕ, ОПТИЧЕСКИЕ И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ»** составлена на основе ГОС ВПО по направлению подготовки 03.03.02 Физика, утверждённого приказом Министерства образования и науки ДНР «04» апреля 2016 г. №284 и «Положения об организации учебного процесса в образовательных организациях высшего профессионального образования Донецкой Народной Республики», утверждённого приказом Министерства образования и науки ДНР «30» октября 2015 г. №750.

Разработчик:
д. ф.-м. н., профессор кафедры ТФ и НТ Юрченко В.М.

к.физ.-мат. н., доцент, доцент кафедры общей физики и дидактики физики Головчан А.В.

Программа учебной дисциплины утверждена на заседании кафедры теоретической физики и нанотехнологий

Протокол № 8 от «12» декабря 2016 г.

Зав. кафедрой теоретической физики и нанотехнологий Варюхин В.Н

Программа учебной дисциплины утверждена на заседании кафедры общей физики и дидактики физики
Протокол № 5 от «17» ноября 2016 г.

Зав. кафедрой общей физики и дидактики физики Бешевли Б.И.

Программа учебной дисциплины одобрена учебно-методической комиссией физико-технического факультета

Протокол № __4_ от "__14__"___декабря__ 2016 г.

Председатель учебно-методической комиссии факультета Котенко В.Н.

1. Область применения и место дисциплины в учебном процессе:

Учебная дисциплина «Новые магнитные, оптические и полупроводниковые материалы» являются частью основной образовательной программы в соответствии с ГОС по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» и состоит из модулей: содержательный модуль 1 «Магнетики и фотонные кристаллы», содержательный модуль 2 «Полупроводниковые материалы».

Учебная дисциплина «Новые магнитные, оптические и полупроводниковые материалы»» относится к циклу вариативной части профессионального блока. Основывается на базе дисциплин: «Дифференциальные уравнения. Интегральные уравнения и вариационное исчисление», «Аналитическая геометрия и линейная алгебра. Теория групп», «Теоретическая физика», «Общая и экспериментальная физика».

2. Нормативные ссылки *(при необходимости)*

3. Структура дисциплины

Характеристика учебной дисциплины	очная форма обучения на базе		**заочная форма обучения на базе*		
	СОО	СПО (ускор.)	СОО	СПО (ускор.)	ВПО (ускор.)
Образовательно-квалификационный уровень:	Бакалавр				
Направление подготовки	***(03.03.02) «Физика»***				
Профиль					
Количество содержательных модулей (тем)	2(9)				
Дисциплина базовой / вариативной части образовательной программы [1]	**Профессиональный блок,** Вариативная часть				
Формы контроля	модульный контроль и зачет				
Показатели	очная форма обучения на базе		**заочная форма обучения на базе*		
	СОО	**СПО (ускор.)*	СОО	СПО (ускор.)	ВПО (ускор.)
Количество зачетных единиц (кредитов)	2				
Количество часов	72				
Год подготовки	4				
Семестр	7				
Количество часов					
- лекционных	28				
- практических, семинарских					
- лабораторных					
- самостоятельной работы	44				
в т.ч. индивидуальное задание					
Недельное количество часов, т.ч.					
аудиторных	2				

СОО – среднее общее образование

СПО – среднее профессиональное образование

ВПО – высшее профессиональное образование

1- в соответствии с ООП (основной образовательной программой)

4. Описание дисциплины

Цели и задачи

Целью дисциплины «Новые магнитные, оптические и полупроводниковые материалы» является формирование знаний и физических представлений современной физики наносистем и наноматериалов; предоставление студентам необходимую для самостоятельной работы совокупность знаний в области новых наноматериалов; ознакомление студентов с современными проблемами физики наноматериалов.

Задача дисциплины «Новые магнитные, оптические и полупроводниковые материалы» предусматривает проработку студентами теоретических основ прослушанного лекционного материала, подготовку будущего специалиста к преподаванию полученных знаний ученикам средней школе или самостоятельной научной работы в области физики твердого тела.

Требования к результатам освоения дисциплины: Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ГОС ВПО по данному направлению подготовки (профилю):

общекультурные компетенции (ОК):

- способность к самоорганизации и самообразованию (ОК-7);

общепрофессиональные компетенции (ОПК):

- способность использовать в профессиональной деятельности базовые естественнонаучные знания, включая знания о предмете и объектах изучения, методах исследования, современных концепциях, достижениях и ограничениях естественных наук (прежде всего физики, химии, биологии, экологии, наук о земле и человеке) (ОПК-1);
- способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач (ОПК-3);
- способность использовать основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации и навыки работы с компьютером как со средством управления информацией (ОПК-5);

профессиональные компетенции (ПК):

научно-исследовательская и проектная деятельность:

- способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (ПК-1);
- 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);

научно-инновационная деятельность:

- способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований (ПК-5);

организационно-управленческая деятельность:

- способность понимать и использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований (ПК-6).

В результате изучения учебной дисциплины студент должен:

знать: общие свойств магнитных наноматериалов; основные идеи и физические явления спиновой электроники; основные идеи и физику явлений фотоники и магноники; физическое происхождение эффектов близости в наноматериалах; свойства растворенных магнитных полупроводников; физику сверхпроводящего эффекта близости в S / N, S / F структурах; специфические свойства графена и мультиферроиков; основные свойства новых полупроводников.

уметь: объяснить особенности свойств магнитных наноматериалов; формулировать идеи спиновой электроники; объяснить основные идеи фотоники и магноники;

владеть: навыками свободного обращения с современными прикладными компьютерными программами для решения задач в области спинтроники, фотоники , магноники и др.

5. Содержание дисциплины и формы организации учебного процесса

№ п/п и тема	**Краткое содержание темы**
	Содержательный модуль 1 «Магнетики и фотонные кристаллы»
Тема 1.	Магнитно-неупорядоченные вещества. Диамагнетизм. Парамагнетизм. Парамагнетизм: механизм Ланжевена-Кюри. Парамагнетизм металлов: механизм Паули
Тема 2.	Магнетики с дальним магнитным порядком. Ферромагнетизм. Физическая природа ферромагнетизма. Температурная зависимость магнитной проницаемости. Температурная зависимость спонтанной намагниченности. Теплоемкость ферромагнетиков. Доменная структура ферромагнетиков. Кривая намагничивания. Магнитный гистерезис. . Анизотропия магнитных свойств. Магнитострикция и термострикция. Магнитокалоричекий эффект Антиферромагнетизм Ферримагнетизм. Ферриты на основе редкоземельных элементов
Тема 3.	Магнитные полупроводники и диэлектрики. Магнитооптические явления. Основные оптические свойства кристаллов. Магнитооптические эффекты. Магнитные полупроводники
Тема 4.	Нано-структурные магнитные материалы. Особенности нанофизики. . Аморфные сплавы и спиновые стекл. Магнитожесткие и магнитомягкие наноматериалы. Динамические свойства наномагнитов. Магнитные частицы в нано-порах. Наноуглеродные ферромагнетики. Гигантское и колоссальное магнитосопротивление. Ферромагнитные жидкости
	Содержательный модуль 2 «Полупроводниковые материалы»
Тема 5	Зонная структура германия, кремния и арсенида галлия. Движение электронов в однородном электрическом поле. Понятие дырки. Мелкие примеси в полупроводниках. Движение в слабом магнитном поле. Концентрация электронов в зоне проводимости и дырок в валентной зоне. Концентрация электронов на примесях Определение положения химического потенциала в полупроводниках
Тема 6.	Релаксационные характеристики пробной частицы. Рассеяние на длинноволновых фононах. Рассеяние на деформационном потенциале акустических фононов (ДА- рассеяние). Пьезоакустическое рассеяние (ПА-рассеяние). Рассеяние на макрополе оптических фононов (ПО - рассеяние). Рассеяние на деформационном потенциале оптических фононов (ДО-рассеяние). Рассеяние на междолинных фононах. Электрон-электронное рассеяние (е-е-рассеяние). Рассеяние на заряженных примесях
Тема 7.	Диффузионно-дрейфовое приближение. Соотношение Эйнштейна Время жизни неравновесных носителей. Уравнение непрерывности. Фотопроводимость. Квазиуровни Ферми. Амбиполярная диффузия и амбиполярный дрейф. Длина дрейфа
Тема 8.	Механизмы поглощения света в полупроводниках. Поглощение на свободных носителях. Межзонное поглощение света. Экситонные эффекты в поглощении светаПоглощение света в непрямозонных полупроводниках. Эффект Бурштейна-МоссаЭффект Франца-Келдыша. Примесное поглощение. Решеточное поглощение. Испускание света полупроводниками. Оптические свойства низкоразмерных систем. Гетеропереходы. Квантовые ямы, квантовые провода и квантовые точки. Модуляторы света на квантовых ямах. Фотоприемники на

	квантовых ямах. Квантово-каскадный лазер
Тема 9.	Контактная разность потенциалов. Формула Ричарсона-Дэшмана. Контакт Шоттки. Вольт-амперная характеристика контакта Шоттки. Омический контакт.

Курс дисциплины предусматривает следующие **формы организации учебного процесса**:

1. лекции;
2. самостоятельная работа студента.

По источнику передачи и восприятия учебной информации используются словесные (лекция, беседа), наглядные (иллюстрация, демонстрация) методы.

По характеру познавательной деятельности студентов используются объяснительно-иллюстративные и репродуктивные методы, проблемное преподавание.

В зависимости от основной дидактической цели и задач используются методы устного изложения знаний, закрепление учебного материала, самостоятельной работы студентов по осмыслению и усвоению нового материала, работы по применению знаний на практике и выработке умений и навыков, проверки и оценки знаний, умений и навыков.

Используются следующие методы контроля:

1. устный контроль (экспресс-опрос на лекциях);
2. проверка самостоятельных работ;
3. итоговый тест по вопросам к зачету.

Тематический план по модулю

	Содержательный модуль 1 «Магнетики и фотонные кристаллы»																						
Названия содержательных модулей и тем	**Количество часов**																						
	Очная форма						**Заочная форма**																
							на базе общего среднего образования						**на базе среднего профессионального образования**						**на базе высшего профессионального образования**				
	всего	в т.ч.					всего	в т.ч.					всего	в т.ч.					всего	в т.ч.			
			лекции	практические	лабораторные	работасамостоятельная	работаиндивидуальная		лекции	практические	лабораторные	работасамостоятельная	работаиндивидуальная		лекции	практические	лабораторные	работасамостоятельная	работаиндивидуальная		лекции	практические	работасамостоятельная	работаиндивидуальная
Тема 1. Магнитно-неупорядоченные вещества	9	4			5																		
Тема 2. Магнетики с дальним магнитным порядком.	8	3			5																		
Тема 3. Магнитные полупроводники и диэлектрики	8	3			5																		
Тема 4. Нано-структурные магнитные материалы	8	3			5																		

	Содержательный модуль 2 «Полупроводниковые материалы»																					
Названия содержательных модулей и тем	**Количество часов**																					
	Очная форма						**Заочная форма**															
							на базе общего среднего образования						**на базе среднего профессионального образования**						**на базе высшего профессионального образования**			
	всего	в т.ч.					всего	в т.ч.					всего	в т.ч.					всего	в т.ч.		
		лекции	практические	лабораторные	работасамостоятельная	работаиндивидуальная		лекции	практические	лабораторные	работасамостоятельная	работаиндивидуальная		лекции	практические	лабораторные	работасамостоятельная	работаиндивидуальная		лекции	практические	работасамостоятельная	работаиндивидуальная
Тема 5. Зонная структура германия, кремния и арсенида галлия. Движение электронов в однородном электрическом поле	8	3			5																	
Тема 6. Релаксационные характеристики пробной частицы	8	3			5																	
Тема 7. Диффузионно-дрейфовое приближение	8	3			5																	
Тема 8. Механизмы поглощения	8	3			5																	

света в полупроводниках																							
Тема 9. Контактная разность потенциалов	7	3			4																		
Итого по дисциплине	72	28			44																		

8. Самостоятельная работа

Самостоятельная работа студентов по курсу "Новые магнитные, оптические и полупроводниковые материалы" предусматривает:

- разработки теоретических основ прослушанного лекционного материала;
- изучение отдельных тем или вопросов, которые предусмотрены для самостоятельной работы;
- подготовку к практическим занятиям;
- самостоятельное решение задач;
- подготовку к модульному контролю.

Темы для самостоятельной работы:

1. Метод рекуррентных соотношений Паррата (метод матриц переноса излучения).
2. Увеличение плотности энергии электрического поля на краю фотонной запрещенной зоны.
3. Эффект Бормана, явление деления лазерных импульсов в фотонных кристаллах (ФК).
4. Квазисинхронизм и несинхронное усиление эффективности генерации сигналов суммарной частоты в нелинейных ФК.
5. Динамика генерации сигнала второй гармоники в ФК. Динамические уравнения и их решения.
6. Нелинейные оптические явления в резонансных ФК (РФК).
7. Двухволновые уравнения Максвелла-Блоха для дискретного РФК.
8. Уравнение синус-Гордон, стационарные решения.

9. Контрольные вопросы к промежуточной аттестации

1. Что такое идеальные магнетики?
2. В чем смысл классической теории Ланжевена?
3. Парамагнетизм и диамагнетизм свободных электронов.
4. Основные характеристики технической кривой намагниченности.
5. Как связаны упругие напряжения и магнитострикция.
6. Магнитный гистерезис. Причины и типы гистерезиса.
7. Электронный и ядерный парамагнитный резонанс.
8. Поясните принцип Гюйгенса – Френеля.
9. Поясните физический смысл понятия поверхности волновых векторов.
10. Отражение и преломление электромагнитных волн на границе раздела двух сред.
11. Запишите на граница - жидкость – твердое тело основные уравнения и граничные условия.

10. Вопросы к зачету

1. Основные понятия магнетизма. Классификация природных магнитных структур. Диполь – дипольное, спин – орбитальное и обменное взаимодействия. Пара-, диа- и ферромагнетики; ферримагнетики. Виды взаимодействия в ферромагнетике. Доменные структуры магнетиков.
2. Магнетики. Магноны. Взаимодействие магнонов. Спиновые волны в магнитных средах: ферромагнетиках, антиферромагнетиках и ферритах. Солитоны в магнетиках (нелинейные спиновые волны). Магнитные полупроводники. Наномагниты. Магнитные свойства изолированных наночастиц и нанокристаллических порошков.
3. Электромагнитное поле. Внутрикристаллическое поле. Метод действующего поля. (Отражение и преломление плоской волны. Элементы теории интерференции и дифракции.)

4. Экситоны и поляритоны в кристалле. Экситонные поляритоны в атомарных криокристаллах. Фотонные кристаллы. Перемещение фотонов в кристаллах.
5. Оптические процессы в наноструктурах. Метаматериалы. Оптические свойства изолированных наночастиц и нанокристаллических порошков.
6. Зонная структура германия, кремния и арсенида галлия. Движение электронов в однородном электрическом поле. Понятие дырки. Мелкие примеси в полупроводниках. Движение в слабом магнитном поле. Концентрация электронов в зоне проводимости и дырок в валентной зоне. Концентрация электронов на примесях
7. Определение положения химического потенциала в полупроводниках
8. Релаксационные характеристики пробной частицы. Рассеяние на длинноволновых фононах. Рассеяние на деформационном потенциале акустических фононов (ДА- рассеяние). Пьезоакустическое рассеяние (ПА-рассеяние). Рассеяние на макрополе оптических фононов (ПО - рассеяние). Рассеяние на деформационном потенциале оптических фононов (ДО-рассеяние). Рассеяние на междолинных фононах. Электрон-электронное рассеяние (е-е-рассеяние). Рассеяние на заряженных примесях
9. Диффузионно-дрейфовое приближение. Соотношение Эйнштейна
10. Время жизни неравновесных носителей. Уравнение непрерывности. Фотопроводимость. Квазиуровни Ферми. Амбиполярная диффузия и амбиполярный дрейф. Длина дрейфа
11. Механизмы поглощения света в полупроводниках. Поглощение на свободных носителях. Межзонное поглощение света. Экситонные эффекты в поглощении света
12. Поглощение света в непрямозонных полупроводниках. Эффект Бурштейна-Мосса
13. Эффект Франца-Келдыша. Примесное поглощение. Решеточное поглощение. Испускание света полупроводниками. Оптические свойства низкоразмерных систем. Гетеропереходы. Квантовые ямы, квантовые провода и квантовые точки. Модуляторы света на квантовых ямах. Фотоприемники на квантовых ямах. Квантово-каскадный лазер
14. Контактная разность потенциалов. Формула Ричарсона-Дэшмана. Контакт Шоттки. Вольт-амперная характеристика контакта Шоттки. Омический контакт.

11. Критерии оценивания

Согласно модульному принципу организации учебного процесса содержание дисциплины «Новые магнитные, оптические и полупроводниковые материалы» включает в себя 2 зачётных модуля, который требует овладения теорией в указанном объёме.

Оценка знаний студентов проводится по 100-балльной шкале по следующим критериям:

Зачётные модули	Форма контроля	Баллы
Содержательный модуль 1	Самостоятельная работа	25
Содержательный модуль 2	Самостоятельная работа	25
Зачет		50
Общий итог		100

К первому промежуточному модульному контролю студент должен подготовить реферат на тему из списка предусмотренных для самостоятельной работы и имеет возможность получить 25 баллов.

К второму промежуточному модульному контролю студент должен подготовить реферат на тему из списка предусмотренных для самостоятельной работы и имеет возможность получить 25 баллов.

На зачете студент имеет возможность получить 50 баллов. Основой для получения оценки на зачете является уровень овладения студентами материала курса «Новые магнитные, оптические и полупроводниковые материалы»», предусмотренного учебным планом направления подготовки 03.03.02 Физика.

От студента требуется устное изложение ответов на 2 теоретических вопроса. Ответ на каждый из вопросов оценивается в 25 баллов. Оценка за овладение курса выставляется по следующим принципам

(Разрабатываются и утверждаются кафедрой на основе Положения ДонНУ)

Оценка по 100-балльной шкале, которая действует в ДонНУ	**По шкале ECTS**	**Оценка по государственной шкале (экзамен, дифференцированный зачет. зачёт)**	**Определение**
90–100	A	«Отлично» (5) *(зачтено)*	отлично – отличное выполнение с незначительным количеством неточностей
80–89	B	«Хорошо» (4) *(зачтено)*	хорошо – в целом правильно выполненная работа с незначительным количеством ошибок (до 10%)
75–79	C		хорошо – в целом правильно выполненная работа с незначительным количеством ошибок (до 15%)
70–74	D	«Удовлетворительно» (3) *(зачтено)*	удовлетворительно – неплохо, но со значительным количеством недостатков
60–69	E		достаточно – выполнение удовлетворяет минимальные критерии
35–59	FX	«Неудовлетворительно» с возможностью повторной аттестации (2) *(не зачтено)*	неудовлетворительно – надо поработать над тем, как получить положительную оценку
0-34	F	«Неудовлетворительно»(2) *(не зачтено)*	неудовлетворительно - с возможностью повторной сдачи при условии обязательного набора дополнительных баллов

12. Материально-техническое обеспечение учебного процесса

Для проведения **лекционных занятий** используется ауд. 0016, оборудованная интерактивной доской, мультимедийным проектором.

13. Рекомендованная литература

Основная

1. Агранович В.М., Гинзбург В.Л. Кристаллооптика с учетом пространственной дисперсии и теория экситонов. – М.: Наука, 1979. – 432с.
2. Пекар С.И. Кристаллооптика и добавочные световые волны. – К.: Наукова думка, 1982. – 296с.
3. Ярив А., Юх П. Оптические волны в кристаллах. – М.: Мир, 1987. – 616с.
4. Шабанов В.Ф., Ветров С.Я., Шабанов А.В. Оптика реальных фотонных кристаллов. Новосибирск: СО РАН, 2005, 240с.
5. Joannopoulos J.D., Johnson S.G., Winn J.N., Meade R.D. Photonic Crystals. Molding the Flow of Light / Second Edition. Princeton: Princeton University Press, 2008, 305p.
6. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М., Наука, 1978. 792 стр.
7. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. М., Мир, 1979. т.1, 400стр., т.2. 424стр.
8. Уэрт У., Томсон Р. Физика твердого тела. М., Мир, 1969. 590 стр.

9. Абрикосов А.А. 1. Введение в теорию нормальных металлов. М., Наука, 1972. 288 стр.
2. Теория нормальных металлов.
10. Блатт Ф. Физика электронной проводимости в твердых телах. М., Мир, 1971. 472 стр.
11. Ансельм А.И Введение в теорию полупроводников. М., Наука. 1978.
12. Френкель Я.И. Введение в теорию металлов. Л., Наука, 1972. 424 стр.
13. Вонсовский СВ., Кацнельсон М.И. Квантовая физика твердого тела. М., Наука, 1983. 336 стр.
14. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М., Наука, 1977.
15. Займан Дж. Физика металлов. I. Электроны. М., Мир, 1972. 464 стр.
Займан Дж. Электроны и фононы. Теория явлений переноса в твердых телах. М., Изд-во ИЛ, 1962. 488стр.
16. Новиков И.И. Дефекты кристаллического строения металлов. М., Металлургия, 1983. 232 стр.
17. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М., Физматлит, 2005. 416 стр.

Дополнительная

1. Шмидт В.В. Введение в физику сверхпроводников. М., Наука, 1982. 240стр.
2. Де Жен П. Сверхпроводимость металлов и сплавов. М., Мир, 1968. 280 стр.
3. Линтон Э. Сверхпроводимость. М., Мир, 1971. 264 стр.
4. Гуляев А.П. Металловедение. М., Оборонгиз, 1948. 556 стр.
5. Грабский М.В. Структура границ зерен в металлах. М., Металлургия, 1972. 152 стр.
6. Кайбышев О.А., Валиев Р.З. Границы зерен и свойства металлов. М., Металлургия, 1987. 216 стр.
7. Бокштейн Б.С., Копецкий Ч.В., Швиндлерман Л.С. Термодинамика и кинетика границ зерен в металлах. М., Металлургия, 1986. 224 стр.
8. Мотт Н., Дэвис Э. Электронные процессы в некристаллических веществах. М., Мир, 1974. 472 стр.
9. Современная кристаллография. Т.3. Чернов А.А., Гиваргизов Е.И., Багдасаров Х.С., Кузнецов В.А., Демьянец Л.Н., Лобачев А.Н. Образование кристаллов. М., Наука, 1980. 408 стр.
10. Современная кристаллография. Т.4. Шувалов Л.А., Урусовская А.А., Желудев И.С., Залесский А.В., Семилетов С.А., Гречушников Б.Н., Чистяков И.Г., Пикин С.А. Физические свойства кристаллов. М., Наука, 1981. 496 стр.
11. Под редакцией Кана Р. Физическое материаловедение.
1. т.1. Атомное строение металлов и сплавов. М., Мир, 1967. 336 стр.
2. т.2. Фазовые превращения. Металлография. М., Мир, 1968. 492 стр.
3. т.3. Дефекты кристаллического строения. Механические свойства металлов и сплавов. М., Мир, 1968. 484 стр.)

Рабочая программа рассмотрена и переутверждена на заседании кафедры с изменениями (без изменений) на 2017 год. Протокол заседания кафедры
№ ___ от _____

Зав. кафедрой _____

Рабочая программа рассмотрена и переутверждена на заседании кафедры с изменениями (без изменений) на 2018/2019 год. Протокол заседания кафедры № ___ от ____

Зав. кафедрой _____ _____

Рабочая программа рассмотрена и переутверждена на заседании кафедры с изменениями (без изменений) на 2019/2020 год. Протокол заседания кафедры № ___ от ____

Зав. кафедрой _____ _____

Рабочая программа рассмотрена и переутверждена на заседании кафедры с изменениями (без изменений) на 2018/2019 год. Протокол заседания кафедры № 1 от 20.08.2018

Зав. кафедрой _____ _____

Рабочая программа рассмотрена и переутверждена на заседании кафедры с изменениями (без изменений) на 2019/2020 год. Протокол заседания кафедры № ___ от ____

Зав. кафедрой _____ _____