

**Белорусский государственный университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе  
и образовательным инновациям

О.Н. Здрок  
«31» мая 2021 г.

Регистрационный № УД- 9738/уч.



**ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В МЕТАЛЛАХ**

**Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности**

**1-31 04 06 Ядерные физика и технологии**

2021

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 04 06-2013 и учебного плана № G-31-142/уч. от 30.05.2013 г

**СОСТАВИТЕЛЬ:**

**В.Г.ШЕПЕЛЕВИЧ** — профессор кафедры физики твердого тела Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор

**РЕЦЕНЗЕНТ:**

**О.Н.БЕЛАЯ** – доцент кафедры медицинской и биологической физики Белорусского государственного медицинского университета, кандидат физико-математических наук, доцент

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой физики твердого тела физического факультета Белорусского государственного университета  
(протокол № 12 от 12.05.2021);

Ученым Советом физического факультета Белорусского государственного университета  
(протокол № 10 от 27.05.2021);

Заведующий кафедрой



В.В. Углов

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа учебной дисциплины «Фазовые превращения в металлах» разработана для специальности 1-31 04 06 Ядерные физика и технологии.

### **Цель и задачи учебной дисциплины**

**Цель** учебной дисциплины – формирование у студентов систематизированных представлений о структурно-фазовых превращениях в металлах и сплавах, их использование при создании новых материалов и режимов термической обработки и учет при эксплуатации изделий из металлов.

Развитие техники предъявляет новые требования к металлам. Промышленность интересуется не только металлы, находящиеся в стабильном состоянии и обладающие определенными структурой, механическими и физическими свойствами, но и получение новых материалов с управляемой структурой, регулируемые свойствами и техническими параметрами. Решение этой проблемы достигается использованием различных условий кристаллизации и методов получения сплавов, изучением влияния химического состава и различных видов термической обработки, в том числе и нетрадиционных методов воздействия на протекание структурных и фазовых превращений и свойства металлов, особенно для сталей.

**Задачами** учебной дисциплины являются:

- изучение процесса кристаллизации, влияние условий кристаллизации на микроструктуру сплавов, формирование структуры при фазовых превращениях в твердом состоянии;
- изучение влияния пластической деформации на структуру и физические свойства металлов и сплавов;
- изучение термической стабильности микроструктуры.

**Место учебной дисциплины** в системе подготовки специалиста с высшим образованием

Учебная дисциплина относится к **циклу** дисциплин специализаций компонента учреждения высшего образования.

**Связи** с другими учебными дисциплинами: дисциплина необходима для использования и развития знаний, изложенных в темах по изучению строения кристаллической решетки, видов симметрии кристаллов, структуры фаз, физических свойств, диаграмм состояния сплавов в дисциплинах «Кристаллография и дефекты в кристаллах», и «Физика твердого тела».

Знания, полученные при изучении учебной дисциплины «Фазовые превращения в металлах» (формирования микроструктуры при кристаллизации, влияние микроструктуры на физические свойства, термическая стабильность микроструктуры) будут использованы в учебных дисциплинах «Материалы ядерной техники», «Структурно-фазовые изменения при облучении».

В учебной дисциплине приведено термодинамическое описание процессов кристаллизации и фазовых превращений в твердом состоянии, Рассмотрены процессы образования зародышей новой фазы, их рост кинетики. Описаны закономерности изменения микроструктуры металлов при внешних воздействиях и термической обработке.

Важной задачей является формирование у студентов навыков самостоятельной исследовательской работы, умения применять полученные научные результаты при создании новых и совершенствование имеющихся материалов.

В результате изучения дисциплины студент должен:

**знать:**

- физические основы структурно-фазовых превращений в сплавах;
- механизмы зарождения новой фазы;
- механизмы роста новой фазы;
- механизмы распада пересыщенных твердых растворов;
- описание кинетики;
- процессы, протекающие в дисперсных средах;
- влияние пластической деформации на структуру металлов;
- структурные превращения в деформированных металлах;
- влияние структуры на физические свойства металлов;

**уметь:**

- анализировать структуру и структурно-фазовые превращения в металлах;
- выбирать режимы нагрева металла при термической обработке сплавов;
- осуществлять выбор методов исследования сплавов, в которых происходят структурно-фазовые превращения.

**владеть:**

- навыками работать самостоятельно и повышать профессиональный уровень;
- способностями реализовывать комплексный подход к решению проблем в области физического металловедения;
- умениями применять базовые научно-технические знания для решения научных и прикладных задач в области физического металловедения и выбирать наиболее эффективное решение при создании определенной структуры в сплаве;
- навыками организовывать и проводить экспериментальные исследования используемых материалов;
- пользоваться компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, научно-технической и патентной литературой и осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиям и проектам;

- организовывать свой собственный труд и взаимодействие с другими исполнителями;
- взаимодействовать со специалистами смежных профилей.

### **Требования к компетенциям**

Программа учебной дисциплины составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта ОСВО 1-31 04 06-2013 *специальности 1-31 04 06 Ядерные физика и технологии*, введенного в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 30.08.2013 №88.

Освоение учебной дисциплины «Фазовые превращения в металлах» должно обеспечить формирование следующих академических, социально-личностных и профессиональных компетенций.

#### **Академические компетенции:**

АК-1. Уметь применять базовые научно-технические знания для решения теоретических и практических задач.

АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.

АК-3. Владеть исследовательскими навыками.

АК-4. Уметь работать самостоятельно.

АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.

АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой компьютером.

АК-8. Иметь лингвистические навыки (устная и письменная коммуникация).

#### **Социально-личностные компетенции:**

СЛК-1. Обладать качествами гражданственности.

СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.

СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.

СЛК-4. Владеть навыками здорового образа жизни.

#### **Профессиональные компетенции:**

ПК-1. Применять знания теоретических и экспериментальных основ ядерной физики и ядерных технологий, ядерно-физических методов исследования, методов измерения физических величин, методов автоматизации эксперимента, методов планирования, организации и ведения научно-производственной, научно-педагогической, производственно-технической, опытно-конструкторской работы в области ядерно-физических технологий и атомной энергетики.

ПК-5. Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно-технической работы.

ПК-9. Пользоваться глобальными информационными ресурсами.

ПК-12. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиями, проектам и решениям.

### **Структура учебной дисциплины**

Дисциплина изучается в 7 семестре дневной формы получения высшего образования. Всего на изучение учебной дисциплины «Фазовые превращения в металлах» отведено 132 часа, в том числе 44 аудиторных часов, из них: лекции – 38 часов, управляемая самостоятельная работа (УСР) – 6 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3,5 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации – зачет, экзамен.

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### Раздел 1. Введение

**Тема 1.1.** Структура металла. Стабильность микроструктуры и фазовые превращения в металлах.

### Раздел 2. Затвердевание металлов

**Тема 2.1.** Зарождение твердой фазы при кристаллизации. Зародышеобразование. Гомогенное и гетерогенное зарождение. Скорость зародышеобразования. Рост кристаллов. Механизмы роста.

**Тема 2.2.** Кинетика кристаллизации, Кинетическая кривая. Теория кинетики кристаллизации без учета столкновения растущих кристаллов. Описание кинетики кристаллизации с учетом столкновений растущих центров. Рост кристаллов. Механизмы роста.

**Тема 2.3.** Затвердевание сплавов. Коэффициент распределения. Нормальное затвердевание. Распределение примесей и легирующих элементов при затвердевании. Концентрационное переохлаждение. Образование ячеистой и дендритной структур. Кристаллизация эвтектических сплавов. Кристаллизация сплавов, образующих перитектику.

**Тема 2.4.** Бездиффузионная кристаллизация. Микроструктура микрокристаллических материалов. Аморфные металлы. Получение аморфных металлов. Модели структуры аморфных материалов. Кристаллизация аморфных сплавов.

### Раздел 3. Фазовые превращения в твердом состоянии

**Тема 3.1.** Общая характеристика фазовых превращений в твердом состоянии. Особенности фазовых превращений в металлах. Перераспределение компонентов и механизмы перестройки кристаллической решетки. Классификация фазовых превращений в твердом состоянии.

**Тема 3.2.** Зарождение и рост новой фазы. Механизмы распада пересыщенных твердых растворов. Спинодальный распад. Механизм образования и роста зародышей. Гомогенное зарождение новой фазы. Роль поверхностной энергии и энергии упругих деформаций в образовании зародышей новой фазы. Зарождение новой фазы на поверхности, границах зерен, дислокациях и дефектах упаковки. Образование переходных фаз. Механизмы роста новой фазы. Рост новой фазы, контролируемый атомными процессами на межфазной границе. Рост новой фазы, контролируемый диффузией. Рост двухфазных пластинчатых систем.

**Тема 3.3.** Кинетика фазовых превращений. Кинетические кривые и диаграммы изотермического превращения. Формальное описание кинетики фазовых превращений. Кинетика фазовых превращений в пересыщенных твердых растворах.

**Тема 3.4.** Дисперсные структуры. Уравнение Гиббса-Томпсона. Коалесценция. Сфероидизация. Гомогенизация.

#### **Раздел 4. Деформированное состояние металла**

**Тема 4.1.** Пластическая деформация металлов. Дислокационная и зеренная структура деформированных металлов. Запасенная энергия деформированного металла. Механизмы упрочнения металла.

**Тема 4.2.** Отжиг деформированного металла. Отдых. Полигонизация. Первичная рекристаллизация. Зарождение центров рекристаллизации. Миграция высокоугловых границ. Кинетика первичной рекристаллизации. Температура рекристаллизации Собираетельная рекристаллизация. Вторичная рекристаллизация.

#### **Раздел 5. Металловедение железа и сталей**

**Тема 5.1.** Фазовая диаграмма железа и основные его свойства. Фазы в сплавах железа. Диаграмма состояния железо – цементит.

**Тема 5.2.** Основные превращения в сталях. Аустенизация. Перлитное превращение. Мартенситное превращение. Тонкая структура мартенсита. Изменение механических свойств при закалке на мартенсит. Бейнитное превращение.

**Тема 5.3.** Отпуск сталей. Структурные превращения углеродистых сталей при отпуске. Изменение свойств углеродистых сталей при отпуске. Изменение свойств легированных сталей при отпуске.



**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Дневная форма получения образования**

Номер раздела,	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Количество часов УСР	Литература	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>1</b>	<b>Введение</b>	<b>2</b>						
	1.1. Структура металла	2					[1,2,3]	
<b>2</b>	<b>Затвердевание металлов</b>	<b>12</b>				<b>2</b>	[1,3,5,6,]	
	2.1. Зарождение твердой фазы при кристаллизации и рост новой фазы при затвердевании.	2					[1,3,5,6] [1,3,5]	Контрольная работа, тестовые задания Решение задач по разделу 2. Защита рефератов
	2.2. Кинетика кристаллизации.	2					[6]	
	2.3. Затвердевание сплавов.	4						
	2.4. Бездиффузионная кристаллизация	4						
						2		
<b>3</b>	<b>Фазовые превращения в твердом состоянии</b>	<b>10</b>				<b>4</b>	[1,2,3,4,5,6]	
	3.1. Общая характеристика, особенности и классификация фазовых превращений в	2					[1,2,4,5]	Контрольная работа,



## **ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

### **Перечень основной литературы**

1. Фольмар М. Кинетика образования фаз. М.: Мир, 1986.
2. Мартин Дж., Доэрти Р. Стабильность микроструктуры металлов. М.: Атомиздат, 1978.
- 3.Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. М.: Metallургия, 1978.
4. Шепелевич В.Г. Структурно-фазовые превращения в металлах. Мн.: БГУ, 2007.
5. Шепелевич В.Г. Сборник задач по физике металлов и металловедению. Мн.: Технология, 2000.
6. Углов В.В., Шепелевич В.Г. Современные функциональные материалы. Мн.: БГУ, 2020.

### **Перечень дополнительной литературы**

1. Мозберг. Р.К. Материаловедение. М.: Высшая школа, 1991.
2. Гуляев.А.П. Металловедение. М.: Metallургия, 1986.
3. Кристиан Дж. Теория превращений в металлах и сплавах. М.: Мир, 1978.
4. Физическое металловедение. Т.2. Под ред. Р.У. Канна и П. Хаазена. М.: Metallургия, 1986.
5. Шепелевич В.Г. Физика металлов и металловедение. Лабораторный практикум: учеб. пособие. Минск, Вышэйшая школа, 2012, 166 с.
6. Соколовская Е.М., Гудей Л.М. Металлохимия. М.: МГУ, 1986.
7. Хоникомб Р. Пластическая деформация металлов. М.: Мир, 1972.

### **Перечень используемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки**

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать контрольные работы, решение задач, защита рефератов.

Формой текущей аттестации по дисциплине «Фазовые превращения в металлах» учебным планом предусмотрен зачет и экзамен.

При формировании оценки текущей успеваемости студента используется рейтинговая оценка знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения.

Текущий контроль знаний по дисциплине проводится во время лекций и по итогам управляемой самостоятельной работы.

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать контрольные работы по отдельным разделам

дисциплины. Оценка результатов контрольных работ проводится в десятибалльной шкале.

Оценка текущей успеваемости ( $T$ ) по дисциплине в семестре является средневзвешенной оценкой двух контрольных работ и оценки по реферату, включая итоговую:

$$T = (K_1 + K_2 + P) / 3.$$

Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. На выполнение каждой контрольной работы отводится 45 мин. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные мероприятия, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

К сдаче экзамена допускаются студенты, выполнившие контрольные работы на удовлетворительные оценки.

Рейтинговая оценка ( $T_p$ ) по дисциплине рассчитывается на основе оценки Текущей успеваемости и экзаменационной оценки ( $T_э$ ) с учетом их весовых коэффициентов:

$$T_p = 0,8 \square T_э + 0,2 \square T$$

### **Примерный перечень заданий по управляемой самостоятельной работе студентов**

Раздел 2. Затвердевание металлов.

Студенты выполняют тесты и решают задачи по соответствующим темам.  
Форма контроля - контрольная работа.

Раздел 3. Фазовые превращения в твердом состоянии.

Студенты выполняют тесты и решают задачи по соответствующим темам.  
Форма контроля - контрольная работа.

### **Примерный перечень вопросов контрольной работы:**

- механизмы образования зародышей новой фазы;
- механизмы роста новой фазы;
- кинетика фазовых превращений;
- кристаллизация сплавов;
- сверхбыстрая закалка из расплава;
- характеристика фазовых превращений в твердом состоянии;

- дисперсные структуры;
- отжиг деформированных металлов;

### **Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины**

При организации образовательного процесса *используются методы и приемы развития критического мышления*, которые представляют собой систему, формирующую навыки работы с информацией; понимании информации как отправного, а не конечного пункта критического мышления. Формой реализации метода может выступать подготовка устных сообщений по вопросам, связанным с экспериментальными методами исследования физических свойств кристаллов и их связью с симметрией структуры, теоретическое рассмотрение которых проходит в процессе лекционных занятий.

Желательным является применение *метода учебной дискуссии*, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме. Реализацию метода рекомендуется осуществлять во время представления кратких сообщений студентов, организовав дискуссию обучающихся, а также в ходе самих лекций. Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемой темы, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

### **Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся**

- Основными направлениями самостоятельной работы студента являются:
- подробное ознакомление с программой учебной дисциплины;
  - ознакомление со списком рекомендуемой литературы по дисциплине в целом и ее разделам;
  - изучение и расширение лекционного материала преподавателя за счет специальной литературы, в частности, современных научных публикаций по изучаемым тематикам;
  - подготовка к контрольным работам;
  - подготовка к экзамену.

### **Примерный перечень заданий для контроля качества усвоения знаний по учебной дисциплине**

Рекомендуемые вопросы для устного опроса

1. Гомогенное зарождение при кристаллизации.
2. Гетерогенное зарождение при кристаллизации.

3. Рост новой фазы.
4. Затвердевание сплавов.
5. Формирование структуры сплавов при кристаллизации.
6. Кинетика кристаллизации.
7. Кристаллизация аморфных сплавов.
8. Особенности фазовых превращений в твердом состоянии.
9. Классификация фазовых превращений в твердом состоянии.
10. Механизмы распада пересыщенных твердых растворов.
11. Гомогенное зарождение новой фазы.
12. Гетерогенное зарождение новой фазы на поверхности, границах зерен, дислокациях.
13. Механизмы роста новой фазы.
14. Кинетика фазовых превращений в твердом состоянии.
15. Дисперсные структуры.
16. Деформированное состояние металлов.
17. Отдых и полигонизация.
18. Рекристаллизационные процессы в металлах.
19. Железо и его сплавы.
20. Диаграмма состояния системы железо цементит.
21. Основные превращения в сталях.
22. Отпуск сталей

#### Рекомендуемые темы реферативных работ

1. Сплавы олова, полученные высокоскоростной кристаллизацией.
2. Сплавы цинка, полученные высокоскоростной кристаллизацией.
3. Эвтектические легкоплавкие сплавы.
4. Многокомпонентные припои на основе олова.
5. Многокомпонентные припои на основе цинка.
6. Многокомпонентные припои на основе индия.
7. Многокомпонентные припои на основе висмута.
8. Сверхбыстрая закалка бинарных сплавов легкоплавких сплавов из жидкой фазы.
9. Легкоплавкие сплавы.
10. Информационный поиск по теме «Быстрозатвердевшие сплавы олова» за 1980-2015 г.г.
11. Патентный поиск по теме «Припои на основе тройной системы Sn-Bi-In» за 1960-2015 г.г.
12. Патентный поиск по теме «Быстрозатвердевшие припои на основе олова» за 1960-2015 г.г.

**Примерный перечень вопросов к экзамену**

1. Микроструктура металлов и ее стабильность.
2. Фазовые превращения.
3. Взаимодействие и движение атомов в жидкостях.
4. Микронеоднородное строение жидкости.
5. Зарождение твердой фазы при кристаллизации.
6. Гомогенное зарождение при кристаллизации.
7. Гетерогенное зарождение при кристаллизации.
8. Скорость зародышеобразования.
9. Принцип Гиббса-Кюри и теорема Вульфа.
10. Непрерывный рост.
11. Рост кристаллов при образовании двумерных зародышей.
12. Рост кристаллов с помощью винтовых дислокаций.
13. Кинетическая кривая.
14. Теория кинетики кристаллизации без учета столкновения растущих кристаллов.
15. Описание кинетики кристаллизации в модели Мейла – Джонсона.
16. Описание кинетики кристаллизации в рамках модели Колмогорова.
17. Коэффициент распределения.
18. Нормальное затвердевание.
19. Распределение примесей и легирующих элементов при затвердевании.
20. Концентрационное переохлаждение. Устойчивая плоская межфазная граница.
21. Формирование ячеистой структуры.
22. Формирование дендритной структуры.
23. Структура затвердевшего слитка.
24. Скорость роста столбчатых зерен.
25. Эвтектическая кристаллизация.
26. Классификация эвтектик.
27. Неравновесная кристаллизация эвтектических сплавов.
28. Бинарные сплавы с перитектикой.
29. Неравновесная кристаллизация сплавов, образующих перитектику.
30. Бездиффузная кристаллизация.
31. Методы сверхбыстрой закалки из расплава.
32. Охлаждение и затвердевание при сверх быстрой закалке из расплава.
33. Микроструктура микрокристаллических материалов.
34. Образование пересыщенных твердых растворов и метастабильных фаз.
35. Аморфные металлы и методы их получения.
36. Группы аморфных металлов.
37. Образование аморфной структуры.
38. Модели аморфных материалов.
39. Дефекты и диффузия в аморфных металлах.
40. Кристаллизация аморфных сплавов.
41. Особенности фазовых превращений в твердом состоянии.

42. Структура межфазных границ.
43. Ориентационное и размерное соответствие фаз.
44. Механизмы перестройки кристаллических решеток.
45. Диффузионные и бездиффузионные превращения.
46. Классификация фазовых превращений в твердом состоянии.
47. Классификация фазовых превращений в твердом состоянии.
48. Механизмы распада пересыщенных твердых растворов.
49. Спинодальный распад.
50. Гомогенное зарождение новой фазы и скорость зародышеобразования.
51. Роль поверхностной энергии и энергии упругих деформаций в образовании зародышей новой фазы.
51. Гетерогенное зарождение новой фазы на поверхности, границах зерен, дислокациях.
52. Гетерогенное зарождение на границах зерен.
53. Гетерогенное зарождение на дислокация и дефектах упаковки.
54. Образование переходных фаз.
55. Механизмы роста новой фазы.
56. Рост новой фазы, контролируемый атомными процессами на межфазной границе.
57. Рост новой фазы, контролируемый диффузией.
58. Рост двухфазных пластинчатых систем.
59. Кинетика фазовых превращений.
60. Формальное описание кинетики фазовых превращений.
61. Кинетика фазового превращения в пересыщенных твердых растворах.
62. Дисперсные структуры. Уравнение Гиббса-Томсона.
63. Коалесценция и сфероидизация. Гомогенизация.
64. Механизмы пластической деформации. Скольжение.
65. Двойникование металлов.
66. Пластическая деформация поликристаллов.
67. Дислокационная структура металлов.
68. Формирование текстуры.
69. Неоднородность пластической деформации.
70. Механизмы упрочнения.
71. Классификация процессов при отжиге деформированного металла. Отдых.
72. Полигонизация.
74. Рекристаллизационные процессы в металлах.
75. Железо и его сплавы.
76. Диаграмма состояния системы железо цементит.
77. Основные превращения в сталях.
78. Аустенизация.
79. Перлитное превращение.
80. Мартенситное превращение.
81. Влияние мартенситного превращения на механические свойства сталей.
82. Бейнитное превращение.
83. Отпуск сталей.



## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Материалы ядерной техники	Кафедра физики твердого тела	нет	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 12 от 12.05.2021 г.)
Структурно-фазовые изменения при облучении	Кафедра физики твердого тела	нет	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 12 от 12.05.2021 г.)

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО**  
на \_\_\_\_ / \_\_\_\_ учебный год

№ № ПП	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры  
(протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.)

Заведующий кафедрой  
физики твердого тела  
д.ф.-м.н., профессор

\_\_\_\_\_ В.В. Углов

УТВЕРЖДАЮ  
Декан физического факультета  
к.ф.-м.н., доцент

\_\_\_\_\_ М.С. Тиванов