

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ  
КАФЕДРА ФИЗИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/0820-573.1

от 31.08.2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**РАДИАЦИОННАЯ ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА**

Направление подготовки  
(специальность)

22.03.01 Материаловедение и технологии  
материалов

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	CPC, час.	KCP, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
8	2	72	24	12	0	36	0	3
Итого	2	72	24	12	0	36	0	

## **АННОТАЦИЯ**

Данная учебная дисциплина относится к циклу дисциплин, обеспечивающих подготовку студентов по специальности «Материаловедение и технологии материалов». В настоящей дисциплине излагаются сведения о радиационных эффектах, возникающих в материалах при воздействии быстрых частиц. Полученные знания будут необходимы для более глубокого понимания ряда специальных дисциплин, таких как "Реакторное материаловедение", "Конструкционные материалы ЯЭУ", "Специальные вопросы радиационного материаловедения" и т.п., выполнения курсового проекта и дипломного проекта по специальности.

### **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Целью учебной дисциплины «Радиационная физика твердого тела» является ознакомление студентов с современными представлениями об изменениях структуры и свойств материалов, подвергаемых облучению высокоэнергетичными частицами (нейтроны, ионы, электроны,  $\gamma$ -кванты).

Для достижения цели излагаются разделы, рассматривающие явления радиационного роста материалов, их распускание (газовое и вакансационное), радиационно-стимулированные процессы, изменение механических характеристик, ускорение ползучести под облучением, радиационную эрозию материалов.

В ходе освоения данной дисциплины студенты должны изучить основные закономерности изменения формы, объема, структуры, физико-механических свойств делящихся и конструкционных материалов и эрозии поверхности под действием облучения, пути повышения стабильности свойств и размеров материалов, эксплуатирующихся в условиях облучения, иметь представление о перспективах развития радиационного материаловедения.

В результате освоения учебной дисциплины «Радиационная физика твердого тела» студент должен:

знать:

- общие характеристики описания процессов радиационного воздействия на конструкционные и делящиеся материалы атомных реакторов и явления радиационной физики твердого тела;
- основы теории фазовых превращений, дефекты кристаллических структур при облучении;
- физические и механические свойства облученных твердых тел;
- основы формирования структурно-фазового состояния и свойств облученных твердых тел;
- основные конструкционные и функциональные материалы, применяемые в ядерных энергетических установках.

уметь:

- анализировать кинетику фазовых и структурных превращений в многокомпонентных системах при облучении для прогноза СФС и свойств многокомпонентных систем;

- прогнозировать структурно-фазовые изменения в сплавах и композитах при внешних воздействиях и определять способы стабилизации и модификации структурно-фазового состояния, удовлетворяющего заданному комплексу требований к свойствам материала;

- анализировать и прогнозировать работоспособность материалов в различных условиях эксплуатации при облучении;

владеть:

- методами и экспериментальной техникой испытания и исследования свойств материалов;

- знанием свойств облученных материалов;

- анализом кинетики фазовых и структурных превращений при облучении для прогноза фазового состава, структуры и свойств сплавов.

## **2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО**

Данная учебная дисциплина входит в образовательный модуль дисциплин по направлению «Материаловедение и технологии материалов». Учебная дисциплина «Радиационная физика твердого тела» относится к дисциплинам общеобразовательного цикла и изучается на 8-м семестре.

Изучение дисциплины базируется на знаниях, полученных в процессе освоения дисциплин: «Общее материаловедение и технологии материалов», «Взаимодействие излучения с веществом, физика», «Дефекты кристаллического строения», «Физические основы прочности». Для изучения дисциплины необходимы компетенции, сформированные у обучающихся в результате освоения дисциплин ООП подготовки специалиста математического и естественнонаучного учебного цикла: математики – методы математического анализа, дифференциального и интегрального исчисления; решения дифференциальных уравнений; физики – фундаментальные разделы физики, подходы и методы механики, классической и квантовой статистики; ядерной физики и реакторов.

Студент должен уметь использовать знания фундаментальных основ, подходы и методы математики, физики, химии и экологии в обучении; владеть математическим аппаратом и навыками использования современных подходов и методов физики, химии и экологии к описанию, анализу, теоретическому и экспериментальному исследованию физических и химических явлений и процессов

Данная дисциплина является базой для изучения специальных учебных дисциплин, изучаемых на заключительных этапах обучения: «Реакторное материаловедение», «Специальные вопросы радиационного материаловедения», «Конструкционные материалы ядерных реакторов», «Модификация материалов концентрированными потоками энергии и ионной имплантацией», «Специальные вопросы материаловедения ТЯР», «Радиационно-стимулированные процессы в твердых телах и наноматериалах», «Получение и обработка металлов и соединений», «Методы исследования реакторных материалов».

## **3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ**

**Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:**

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ОПК-1 – Способен решать задачи профессиональной деятельности, применяя методы моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общеинженерные знания	З-ОПК-1 – знать фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы; У-ОПК-1 – уметь применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера; В-ОПК-1 – владеть навыками моделирования, математического анализа, а также решать задачи в области естественнонаучных и общеинженерных знаний.

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

<b>Задача профессиональной деятельности (ЗПД)</b>	<b>Объект или область знания</b>	<b>Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции</b>
научно-исследовательский			
сбор данных о существующих типах и марках материалов, их структуре и свойствах применительно к решению поставленных задач с использованием баз данных и литературных источников	основные типы современных конструкционных и функциональных неорганических (металлических и неметаллических) и органических (полимерных и углеродных) материалов, композитов и гибридных материалов, сверхтвердых материалов, интеллектуальных и наноматериалов, пленок и покрытий	ПК-1.2 - способен применять знания об основных типах современных материалов, принципах выбора материалов для заданных условий эксплуатации с учетом требований технологичности, экономичности, надежности и долговечности, экологических последствий их применения при проектировании высокотехнологичных процессов  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-1.2 - знать основные типы современных материалов, а также подходы к выбору материалов для заданных условий эксплуатации; У-ПК-1.2 - уметь выбрать материал для заданных условий эксплуатации; В-ПК-1.2 - владеть основными подходами при выборе материалов для заданных условий эксплуатации
сбор данных о существующих типах и марках материалов, их структуре и свойствах применительно к	основные типы современных конструкционных и функциональных неорганических (металлических и	ПК-2 - способен использовать на практике современные представления о влиянии структуры на свойства материалов, их	З-ПК-2 - знать основные представления о структуре материалов и влиянии структуры на свойства

решению поставленных задач с использованием баз данных и литературных источников	неметаллических) и органических (полимерных и углеродных) материалов, композитов и гибридных материалов, сверхтвердых материалов, интеллектуальных и наноматериалов, пленок и покрытий	взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	материалов, их взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями; ; У-ПК-2 - уметь анализировать влияние структуры материалов на их свойства, а также ее эволюцию при взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями; ; В-ПК-2 - владеть практическими навыками анализа эволюции структурно-фазового состояния материалов при взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями и влияния этой эволюции на свойства материалов.
--	--	---	--

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п. п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практик. (семинары)/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>8 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	12/6/0		КИ-8	25	
2	Часть 2	9-15	12/6/0		КИ-15	25	
	<i>Итого за 8 Семестр</i>		24/12/0			50	
	<b>Контрольные мероприятия за 8 Семестр</b>				3	50	

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

<b>Обозначение</b>	<b>Полное наименование</b>
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет

## КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

<b>Недели</b>	<b>Темы занятий / Содержание</b>	<b>Лек., час.</b>	<b>Пр./сем., час.</b>	<b>Лаб., час.</b>
	<i>8 Семестр</i>	24	12	0
<b>1-8</b>	<b>Часть 1</b>	12	6	0
1 - 2	Основные проблемы радиационной физики материалов. Общие сведения о влиянии радиационного воздействия на свойства материалов. Радиационный рост материалов. Закономерности радиационного роста монокристаллов, изотропного и текстурированного поликристаллического материала. Коэффициент радиационного роста и его температурная зависимость. Современные представления о причине радиационного роста.	Всего аудиторных часов 3 Онлайн		
3 - 4	Явления газового распухания топливных материалов. Зарождение пузырьков газообразных продуктов деления. Рост неподвижных пузырьков. Механизмы миграции и рост пузырьков. Основные закономерности и теоретические объяснения газового распухания. Распухание топлива, обусловленное твердыми продуктами деления.	Всего аудиторных часов 3 Онлайн		
5	Вакансационное распухание металлов под воздействием облучения. Закономерности развития вакансационной пористости. Факторы, влияющие на вакансационное распухание. Пути снижения скорости вакансационного распухания.	Всего аудиторных часов 1 Онлайн		
6 - 7	Радиационно-стимулированные и радиационно-индуцированные процессы. Явления радиационной гомогенизации сплавов и его теоретическое объяснение. Аморфизация сплавов при облучении. Распад пересыщенных твердых растворов при облучении. Сегрегация примесей при облучении. Упорядочение и разупорядочение сплавов. Радиационно-ускоренная диффузия.	Всего аудиторных часов 3 Онлайн		
8	Радиационное упрочнение металлов и сплавов под облучением. Параметры, характеризующие радиационное упрочнение. Механизмы радиационного упрочнения. Влияние условий облучения на упрочнение под облучением. Низкотемпературное радиационное охрупчивание. Основные закономерности изменения	Всего аудиторных часов 2 Онлайн		

	механических свойств металлов и сплавов при облучении.			
9-15	<b>Часть 2</b>	12	6	0
	Методы имитации радиационных повреждений материалов при облучении до высоких доз. Перспективы науки о радиационных повреждениях.	Всего аудиторных часов		
		Онлайн		
9 - 10	Высокотемпературное радиационное охрупчивание (ВТРО). Влияние температуры облучения и условий испытаний на ВТРО. Механизмы ВТРО. Способы уменьшения ВТРО.	Всего аудиторных часов		
		3	1.5	
		Онлайн		
11 - 12	Радиационная ползучесть материалов. Механизмы радиационной ползучести. Релаксация напряжений в материалах под облучением. Теоретические объяснения явлений радиационной релаксации напряжений.	Всего аудиторных часов		
		3	1.5	
		Онлайн		
13 - 14	Радиационная эрозия поверхности, физическое и химическое распыление материалов, эрозия вследствие образования униполярных дуг. Основные механизмы и закономерности радиационной эрозии вследствие распыления.	Всего аудиторных часов		
		3	1.5	
		Онлайн		
15	Радиационный блистеринг. Зависимость блистеринга от температуры, флюенса и энергии внедряемых ионов. Механизмы радиационного блистеринга.	Всего аудиторных часов		
		3	1.5	
		Онлайн		

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации программы учебной дисциплины используются различные образовательные технологии – занятия проводятся в форме лекций и лабораторных работ. Лабораторные работы охватывают основные разделы учебного курса и проводятся поэтапно. Им предшествует чтение лекций по тематике последующих лабораторных работ.

Для контроля усвоения студентом разделов данного курса используются тестовые технологии, ответы на которые позволяют судить об усвоении студентом данного курса. Усвоение студентами материала курса контролируется написанием 3 коллоквиумов на 6, 10 и 15 неделях.

Самостоятельная работа студентов подразумевает под собой проработку лекционного материала с использованием рекомендуемой литературы для подготовки к тестам, лабораторным работам и написанию коллоквиумов.

В процессе освоения учебной дисциплины при проведении лабораторных работ осуществляется разбор конкретных ситуаций по поведению конструкционных материалов в действующих реакторных установках и посещение исследовательского реактора НИЯУ МИФИ – ИРТ 2000 с целью ознакомления с его устройством, назначением и параметрами обучения материалов.

## 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения
ОПК-1	3-ОПК-1 У-ОПК-1 В-ОПК-1 3-ОПК-1 У-ОПК-1 В-ОПК-1 3-ОПК-1 У-ОПК-1 В-ОПК-1
ПК-1.2	3-ПК-1.2 У-ПК-1.2 В-ПК-1.2 3-ПК-1.2 У-ПК-1.2 В-ПК-1.2 3-ПК-1.2 У-ПК-1.2 В-ПК-1.2
ПК-2	3-ПК-2 У-ПК-2 В-ПК-2 3-ПК-2 У-ПК-2 В-ПК-2 3-ПК-2 У-ПК-2 В-ПК-2

## Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко иочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89		B	
75-84		C	
70-74	4 – «хорошо»	D	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
65-69			Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64	3 – «удовлетворительно»	E	
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

Оценочные средства приведены в Приложении.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 620 Ф50 Физическое материаловедение Т.4 Физические основы прочности. Радиационная физика твердого тела. Компьютерное моделирование, Москва: НИЯУ МИФИ, 2012

2. 539.2 К17 Измерение топографии модифицированной поверхности материалов: лабораторная работа : лабораторная работа: учебное пособие для вузов, Б. А. Калин, Н. В. Волков, Москва: МИФИ, 2008

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Т35 Термодесорбционные исследования поведения газов в металлах, сплавах и соединениях : лабораторный практикум: учебное пособие для вузов, , Москва: МИФИ, 2008
2. 621.039 Т35 Термодесорбционные исследования поведения газов в металлах, сплавах и соединениях : лабораторный практикум: учебное пособие для вузов, , Москва: МИФИ, 2008
3. 621.039 Ж86 Радиационные эффекты в реакторных материалах : учебное пособие, В. П. Жуков, Г. И. Соловьев, Москва: МИФИ, 1987
4. 669 З-48 Радиационные дефекты и распухание металлов : , В. Ф. Зеленский, И. М. Неклюдов, Т. П. Черняева, Киев: Наук. думка, 1988
5. 621.039 К17 Проблемы выбора материалов для термоядерных реакторов. Радиационная эрозия : , Калин Б.А., Скоров Д.М., Якушин В.Л., М.: Энергоатомиздат, 1985
6. 621.039 К17 Радиационная эрозия поверхности конструкционных материалов : Учеб. пособие, Калин Б.А., Чернов И.И., М.: МИФИ, 1986
7. 539.53 К64 Действие облучения на материалы : введение в радиационное материаловедение, С. Т. Конобеевский, М.: Атомиздат, 1967
8. 621.039 И15 Радиационные повреждения металлов и сплавов : , Ш. Ш. Ибрагимов, В. В. Кирсанов, Ю. С. Пятилетов, М.: Энергоатомиздат, 1985

#### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

#### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

Автор(ы):

Якушин Владимир Леонидович, д.ф.-м.н., с.н.с.