

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 №01/08/24-573.1 от 30.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
РАДИАЦИОННАЯ ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

Направление подготовки
(специальность)

[1] 22.03.01 Материаловедение и технологии
материалов

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

АННОТАЦИЯ

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.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью учебной дисциплины является ознакомление студентов с современными представлениями об изменениях структуры и свойств материалов, подвергаемых облучению высокоэнергетичными частицами (нейтроны, ионы, электроны, α -кванты).

Для достижения цели излагаются разделы, рассматривающие явления радиационного роста материалов, их набухание (газовое и вакансионное), 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 деформируемых 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.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

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: 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», «Модифицирование 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 [1] – Способен решать задачи профессиональной деятельности, применяя методы моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общеинженерные знания	З-ОПК-1 [1] – знать фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы; У-ОПК-1 [1] – уметь применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера; В-ОПК-1 [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:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
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 [1] - 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	З-ПК-1.2[1] - знать основные типы современных материалов, а также подходы к выбору материалов для заданных условий эксплуатации; У-ПК-1.2[1] - уметь выбрать материал для заданных условий эксплуатации; В-ПК-1.2[1] - владеть основными подходами при выборе материалов для заданных условий эксплуатации

		<i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	
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-2 [1] - способен использовать на практике современные представления о влиянии структуры на свойства материалов, их взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-2[1] - знать основные представления о структуре материалов и влиянии структуры на свойства материалов, их взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями; ; У-ПК-2[1] - уметь анализировать влияние структуры материалов на их свойства, а также ее эволюцию при взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями; ; В-ПК-2[1] - 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. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия (В17)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования чувства личной ответственности за достижение лидерства России в ведущих научно-технических секторах и фундаментальных исследованиях, обеспечивающих ее экономическое развитие и

		<p>внешнюю безопасность, посредством контекстного обучения, обсуждения социальной и практической значимости результатов научных исследований и технологических разработок.</p> <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования социальной ответственности ученого за результаты исследований и их последствия, развития исследовательских качеств посредством выполнения учебно-исследовательских заданий, ориентированных на изучение и проверку научных фактов, критический анализ публикаций в профессиональной области, вовлечения в реальные междисциплинарные научно-исследовательские проекты.</p>
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (B18)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (B19)	<p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для:</p> <ul style="list-style-type: none"> - формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований. <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и</p>

		<p>инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для:</p> <ul style="list-style-type: none"> - формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед; - формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.
--	--	--

5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (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		25	КИ-8	3-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, 3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2
2	Часть 2	9-15	12/6/0		25	КИ-15	3-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, 3-ПК-1.2, У-ПК-1.2,

							В-ПК-1.2, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2
	<i>Итого за 8 Семестр</i>		24/12/0		50		
	Контрольные мероприятия за 8 Семестр				50	3	3-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, 3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2

* – 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:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>8 Семестр</i>	24	12	0
1-8	Часть 1	12	6	0
1 - 2	Тема 1 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	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 4	Тема 2 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	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	Тема 3 Вакансионное распухание металлов под воздействием облучения. Закономерности развития вакансионной	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		

	пористости. Факторы, влияющие на вакансионное набухание. Пути снижения скорости вакансионного набухания.	0	0	0
6 - 7	Тема 4 Радиационно-стимулированные и радиационно-индуцированные процессы. Явления радиационной гомогенизации сплавов и его теоретическое объяснение. Амorfизация сплавов при облучении. Распад пересыщенных твердых растворов при облучении. Сегрегация примесей при облучении. Упорядочение и разупорядочение сплавов. Радиационно-ускоренная диффузия.	Всего аудиторных часов		
		3	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	Тема 5 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 механических свойств металлов и сплавов при облучении.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-15	Часть 2	12	6	0
9 - 10	Тема 6 Методы имитации радиационных повреждений материалов при облучении до высоких доз. Перспективы науки о радиационных повреждениях. Высокотемпературное радиационное охрупчивание (ВТРО). Влияние температуры облучения и условий испытаний на ВТРО. Механизмы ВТРО. Способы уменьшения ВТРО.	Всего аудиторных часов		
		3	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
11 - 12	Тема 7 Радиационная ползучесть материалов. Механизмы радиационной ползучести. Релаксация напряжений в материалах под облучением. Теоретические объяснения явлений радиационной релаксации напряжений.	Всего аудиторных часов		
		3	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 14	Тема 8 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	0
		Онлайн		
		0	0	0
15	Тема 9 Радиационный блистеринг. Зависимость блистеринга от температуры, флюенса и энергии внедряемых ионов. Механизмы радиационного блистеринга.	Всего аудиторных часов		
		3	1	0
		Онлайн		
		0	0	0

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

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации программы учебной дисциплины используются активные и интерактивные формы обучения с применением электронных ресурсов, LMS, информационно-коммуникационных образовательных технологий.

Самостоятельная работа студентов подразумевает под собой проработку лекционного материала с использованием рекомендуемой литературы.

7. 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	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ОПК-1	З-ОПК-1	З, КИ-8, КИ-15
	У-ОПК-1	З, КИ-8, КИ-15
	В-ОПК-1	З, КИ-8, КИ-15
ПК-1.2	З-ПК-1.2	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-1.2	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-1.2	З, КИ-8, КИ-15
ПК-2	З-ПК-2	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-2	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-2	З, КИ-8, КИ-15

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 и прочно 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	4 – «хорошо»	В	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		С	
70-74		Д	
65-69	3 – «удовлетворительно»	Е	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			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	Ф	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.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 539.2 К17 Измерение топографии модифицированной поверхности материалов: лабораторная работа : лабораторная работа: учебное пособие для вузов, Волков Н.В., Калинин Б.А., Москва: МИФИ, 2008
2. 620 Ф50 Физическое материаловедение Т.4 Физические основы прочности. Радиационная физика твердого тела. Компьютерное моделирование, , Москва: НИЯУ МИФИ, 2012

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 539.53 К64 Действие облучения на материалы : введение в радиационное материаловедение, Конобеевский С.Т., М.: Атомиздат, 1967
2. 621.039 К17 Проблемы выбора материалов для термоядерных реакторов. Радиационная эрозия : , Якушин В.Л., Скоров Д.М., Калинин Б.А., М.: Энергоатомиздат, 1985
3. 621.039 К17 Радиационная эрозия поверхности конструкционных материалов : Учеб. пособие, Чернов И.И., Калинин Б.А., М.: МИФИ, 1986

4. 669 З-48 Радиационные дефекты и набухание металлов : , Зеленский В.Ф., Черняева Т.П., Неклюдов И.М., Киев: Наук. думка, 1988
5. 621.039 И15 Радиационные повреждения металлов и сплавов : , Кирсанов В.В., Пятилетов Ю.С., Ибрагимов Ш.Ш., М.: Энергоатомиздат, 1985
6. 621.039 Ж86 Радиационные эффекты в реакторных материалах : учебное пособие, Жуков В.П., Соловьев Г.И., Москва: МИФИ, 1987
7. 621.039 Т35 Термодесорбционные исследования поведения газов в металлах, сплавах и соединениях : лабораторный практикум: учебное пособие для вузов, Стальцов М.С. [и др.], Москва: МИФИ, 2008
8. ЭИ Т35 Термодесорбционные исследования поведения газов в металлах, сплавах и соединениях : лабораторный практикум: учебное пособие для вузов, Стальцов М.С. [и др.], Москва: МИФИ, 2008

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

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

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

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Самостоятельная работа студентов проводится путем проработки лекционного материала с использованием рекомендуемой литературы, подготовки к практическим занятиям и написанию коллоквиумов.

При рассмотрении студентами материала введения особое внимание следует уделить основным процессам, происходящим в делящихся и конструкционных материалах при нейтронном облучении и их влиянии на изменение свойств материалов.

При изучении темы 1 необходимо уделить особое внимание закономерностям радиационного роста делящихся и конструкционных материалов, современным представлениям о причинах радиационного роста.

При рассмотрении темы 2 следует обратить больше внимания явлению газового набухания топливных материалов и вакансионного набухания конструкционных материалов под воздействием облучения, изучить факторы, влияющие на вакансионное набухание, и методы снижения скорости набухания.

При изучении влияния облучения на прочностные и пластические характеристики материалов необходимо детально разобраться в явлениях низкотемпературного и

высокотемпературного радиационного охрупчивания, их влиянии на эксплуатационные характеристики и ресурс конструкционных материалов в зависимости от условий облучения. Оценить вклад радиационной ползучести материалов на их работоспособность.

Следует обратить особое внимание на изучение возможных методов имитации радиационных повреждений при облучении до высоких доз, рассмотрению сравнительных характеристик облучения материалов в реакторах и в ускорителях, правильной интерпретации результатов имитационных исследований

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

При подготовке к лекционным занятиям следует использовать рекомендуемую литературу из списка основной и дополнительной литературы данной рабочей программы.

На практических занятиях следует уделять внимание решению задач на следующие темы:

1. Радиационный рост конструкционных и делящихся материалов;
2. Распухание металлов под действием облучения;
3. Изменение механических свойств облученных конструкционных материалов;
4. Методы имитации радиационных повреждений.

5. Устройство, назначение и параметры облучения материалов в исследовательском реакторе ИРТ 2000.

Автор(ы):

Бородин Владимир Алексеевич, д.ф.-м.н., с.н.с.