

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
и образовательным инновациям



О.И.Чуприс

Регистрационный № УД- 5186 /уч.

РАДИАЦИОННЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ И ЭФФЕКТЫ В РЕАКТОРНЫХ МАТЕРИАЛАХ

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности
1-31 04 06 Ядерные физика и технологии**

Учебная программа составлена на основе ОСВJ 1-31 04 06-2013 и учебного плана №G-31-142/уч от 30.05.2013 г., № G-31и-145/уч от 30.05.2013 г.

СОСТАВИТЕЛЬ:

И.И. Чернов—профессор отделения ядерной физики и технологий офиса образовательных программ Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», доктор физико-математических наук, профессор.

В.В.Углов — заведующий кафедрой физики твердого тела Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой физики твердого тела
физического факультета Белорусского государственного университета
(протокол № 10 от 16 мая 2018 г.);

Ученым Советом физического факультета Белорусского государственного
университета
(протокол № 11 от 01 июня 2018 г.).

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа учебной дисциплины «Радиационные повреждения и эффекты в реакторных материалах» разработана для специальности 1-31 04 06 ядерная физика и технологии.

Целью освоения учебной дисциплины является получение студентами базовых знаний и современных физических представлений о структурно-фазовом состоянии, механических, жаропрочных свойств, коррозионной и радиационной стойкости реакторных конструкционных материалов, с влиянием на них эксплуатационных факторов. По окончании изучения дисциплины студенты должны уметь обоснованно выбирать конструкционные материалы для ядерного реактора заданного типа, знать пути повышения характеристик реакторных материалов и иметь представления о перспективных конструкционных материалах активных зон реакторов на тепловых и быстрых нейтронах.

Основной задачей учебной дисциплины является изучение химического состава, структурно-фазового состояния, методов повышения прочностных и жаропрочных свойств, коррозионных процессов в различных теплоносителях, радиационных явлений, возникающих в конструкционных материалах, используемых в атомной технике, и закономерностей изменения формы, объема, структурно-фазового состояния и механических свойств под действием облучения, методов повышения стабильности свойств и размеров материалов, эксплуатирующихся в условиях облучения, получить представление о перспективах развития реакторного материаловедения.

Учебная дисциплина относится к циклу дисциплин специализаций.

Данная задача выполняется непосредственно при прослушивании лекций, при самостоятельной работе с технической литературой, учебными пособиями, справочниками, стандартами и ГОСТами.

Понимание физических основ разработки реакторных конструкционных материалов, радиационных явлений, закономерностей изменения структуры и свойств материалов под действием высоких температур и напряжений, агрессивных сред и облучения является необходимым условием успешной профессиональной деятельности специалиста, имеющего квалификацию «Физик. Инженер» и работающего в области ядерной физики и технологий.

В учебной дисциплине рассматриваются основы выбора химического состава, создания необходимого структурно-фазового состояния, обеспечения коррозионной стойкости в теплоносителях и под действием продуктов деления ядерного топлива, основные радиационные процессы, возникающие в конструкционных реакторных материалах при облучении. Изложены явления радиационного упрочнения и охрупчивания, радиационного роста и радиационной ползучести материалов, радиационного

распухания (газового и вакансионного), радиационно-стимулированных процессов, изменения механических и жаропрочных характеристик под облучением.

Материал учебной дисциплины основан на знаниях и представлениях, заложенных в общих курсах по физике твердого тела, кристаллографии, материаловедению, взаимодействия ионизирующих излучений с веществом и коррозионной стойкости в различных средах (вода, пар, расплавленные жидкие металлы). Он является базовым для последующих курсов: физика, конструкционные материалы ядерных реакторов, атомные электрические станции.

В результате изучения дисциплины студент должен:

1) *Знать:* классы реакторных материалов по структуре, свойствам и назначению; необходимый комплекс их эксплуатационных и технологических свойств; физические и механические свойства конструкционных и функциональных материалов ядерной техники; основные конструкционные и функциональные материалы, применяемые в ядерных энергетических установках и других областях передовой техники.

2) *Уметь:* анализировать кинетику фазовых и структурных превращений для прогноза фазового состава, структуры и свойств многокомпонентных систем; анализировать условия работы и напряженное состояние материала в конструкции, выбирать материал и режимы его обработки исходя из условий его службы и комплекса предъявляемых требований; определять необходимую структуру и состав для разработки материала; сопоставлять возможные пути получения материалов с заданной структурой и свойствами; назначать их термическую, термомеханическую и химико-термическую обработку; самостоятельно добывать новые знания в области современных проблем науки, техники и технологии, включая сферу деятельности, связанной с ядерной физикой, ядерными материалами и технологиями; критически переосмысливать накопленный опыт, генерировать и использовать новые идеи, находить творческие решения профессиональных задач; на основе системного подхода строить модели для описания и прогнозирования явлений, осуществлять их качественный и количественный анализ с оценкой пределов применимости полученных результатов; находить необходимую профессиональную информацию в периодической литературе, банках и базах данных (в том числе в сети Интернет), оценивать и обрабатывать ее; на основе результатов экспериментов, моделирования и анализа состояния производства планировать и сопровождать технологические процессы получения и обработки материалов.

3) *Владеть:* методами прогноза структурно-фазовых изменений в сплавах и композитах при внешних воздействиях и способами стабилизации структуры; анализом кинетики фазовых и структурных превращений для прогноза фазового состава, структуры и свойств сплавов; культурой мышления, способностью к обобщению, анализу, критическому осмыслению, систематизации, прогнозированию, постановке целей и выбору

путей их достижения, умением анализировать логику рассуждений и высказываний; способностью оценить перспективные направления в развитии ядерной отрасли, использовать ее современные достижения и передовые технологии в научно-исследовательских работах; способностью использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; готовностью к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов; методами теоретического анализа прогнозирования поведения конструкционных и функциональных материалов в эксплуатационных условиях ядерного реактора.

Программа составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта. Форма получения высшего образования – очная, дневная.

В результате изучения дисциплины студент должен обладать следующими компетенциями.

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-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, методов измерения величин, организации и ведения научно-производственной, научно-педагогической работы в области ядерно-физических технологий и атомной энергетики.

ПК-2. Пользоваться компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации.

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-10. Пользоваться государственными языками Республики Беларусь и иными иностранными языками как средством делового общения.

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

Взаимосвязь учебной дисциплины «Радиационные повреждения и эффекты в реакторных материалах» с учебными дисциплинами «Фазовые превращения в металлах», «Физическое материаловедение», «Реакторное материаловедение», «Радиационные эффекты в твердых телах» состоит в использовании и развитии знаний, изложенных в темах по изучению строения кристаллической решетки реакторных материалов, структурно-фазовых превращений, физических свойств, коррозионных процессов, радиационных эффектов. Знания, полученные при изучении учебной дисциплины «Радиационные повреждения и эффекты в реакторных материалах», будут использованы в учебных дисциплинах «Материалы ядерной техники», «Конструкционные материалы ядерных реакторов», «Структурно-фазовые изменения при облучении».

Общее количество часов, отводимое на изучение учебной дисциплины 40, из них количество аудиторных часов –20. Аудиторные занятия проводятся в виде лекций – 16 ч, УСП – 4 ч .

Занятия проводятся на 5-м курсе в 9-м семестре. Форма текущей аттестации по учебной дисциплине –зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Цирконий и его сплавы.

Условия работы, требования и области применения материалов в атомной технике. Перспективы развития атомной энергетики в России и мире. Введение в проблематику разработки конструкционных материалов атомной техники.

Особенности структурных превращений, структурная классификация, термическая обработка и фазовый состав циркониевых сплавов. Новые сплавы циркония для реакторостроения. Текстура и ее влияние на свойства изделий из циркониевых сплавов. Коррозионная (виды коррозионных повреждений) и радиационная (радиационное упрочнение и охрупчивание, радиационный рост и радиационно-ускоренная ползучесть) стойкость циркониевых сплавов, методы их повышения. Достоинства, недостатки и применение циркония в атомной технике.

Тема 2. Физико-химические закономерности влияния легирующих элементов на структуру и свойства сталей. Теплоустойчивые, жаропрочные и жаростойкие стали.

Диаграмма состояния Fe-C. Упрочняющие фазы в сталях: карбиды, нитриды, интерметаллиды. Ферритостабилизирующие и аустенитостабилизирующие элементы. Диаграмма Шеффлера. Прокаливаемость сталей. Формирование структуры сталей термообработкой.

Тема 3. Углеродистые и низколегированные стали перлитного класса.

Структура и свойства углеродистых сталей. Отпускная хрупкость. Химический состав и механические свойства реакторных конструкционных сталей перлитного класса. Роль хрома, молибдена, ванадия, никеля и других элементов в перлитных сталях. Термическая обработка перлитных сталей. Коррозионная и радиационная стойкость перлитных сталей. Влияние облучения на критическую температуру охрупчивания. Коэффициент радиационного охрупчивания. Совместимость сталей с теплоносителями. Достоинства, недостатки и применение перлитных сталей в атомной технике.

Тема 4. Хромистые стали.

Сплавы системы Fe-Cr. Основные легирующие элементы и вредные примеси. Новые направления разработки реакторных жаропрочных и радиационно-стойких хромистых сталей. Термообработка хромистых сталей. Совместимость сталей с теплоносителями. Достоинства, недостатки и применение хромистых сталей в атомной технике.

Тема 5. Жаропрочные коррозионно-стойкие стали аустенитного класса.

Сплавы систем Fe-Cr-Ni и Fe-Cr-Mn. Классификация аустенитных сталей по виду упрочнения, упрочняющие фазы в жаропрочных сталях. Радиационная стойкость аустенитных сталей. Основные аустенитные стали, их достоинства, недостатки и применение в отечественном и зарубежном реакторостроении. Новые направления разработки реакторных жаропрочных и радиационно-стойких аустенитных сталей.

Учебно-методическая карта дисциплины

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
1	<p><i>Цирконий и его сплавы.</i> Условия работы, требования и области применения материалов в атомной технике. Перспективы развития атомной энергетики в России и мире. Введение в проблематику разработки конструкционных материалов атомной техники.</p> <p>Особенности структурных превращений, структурная классификация, термическая обработка и фазовый состав циркониевых сплавов. Новые сплавы циркония для реакторостроения. Текстура и ее влияние на свойства изделий из циркониевых сплавов. Коррозионная (виды коррозионных повреждений) и радиационная (радиационное упрочнение и охрупчивание, радиационный рост и радиационно-ускоренная ползучесть) стойкость циркониевых сплавов, методы их повышения. Достоинства, недостатки и применение циркония в атомной технике.</p>	3				2	1-3,5	Контроль ная работа

2	<p>Физико-химические закономерности влияния легирующих элементов на структуру и свойства сталей. Теплоустойчивые, жаропрочные и жаростойкие стали.</p> <p>Диаграмма состояния Fe-C. Упрочняющие фазы в сталях: карбиды, нитриды, интерметаллиды. Ферритостабилизирующие и аустенитостабилизирующие элементы. Диаграмма Шеффлера. Прокаливаемость сталей. Формирование структуры сталей термообработкой.</p>	2					1, 2, 4	
3	<p>Углеродистые и низколегированные стали перлитного класса.</p> <p>Структура и свойства углеродистых сталей. Отпуская хрупкость. Химический состав и механические свойства реакторных конструкционных сталей перлитного класса. Роль хрома, молибдена, ванадия, никеля и других элементов в перлитных сталях. Термическая обработка перлитных сталей. Коррозионная и радиационная стойкость перлитных сталей. Влияние облучения на критическую температуру охрупчивания. Коэффициент радиационного охрупчивания. Совместимость сталей с теплоносителями. Достоинства, недостатки и применение перлитных сталей в атомной технике.</p>	4				2	1-4, 6	Контроль ная работа
4	<p>Хромистые стали.</p> <p>Сплавы системы Fe-Cr. Основные легирующие</p>	3					1-3, 5	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Физическое материаловедение: Учебник для вузов /Под общей ред. Б.А. Калина. Т. 6. Конструкционные материалы ядерной техники / Б.А. Калинин, П.А. Платонов, Ю.В. Тузов, И.И. Чернов, Я.И. Штромбах. –М.:НИЯУ МИФИ, 2012. – 736 с.
2. Физическое материаловедение: Учебник для вузов / Под общей ред. Б.А. Калина. Т. 4. Радиационная физика твердого тела. Компьютерное моделирование / М.Г.Ганченкова, Е.Г. Григорьев, Б.А. Калинин, Г.И. Соловьев, А.Л.Удовский, В.Л. Якушин. – М.: НИЯУ МИФИ, 2012. – 624 с.

Перечень дополнительной литературы

3. Влияние легирования и термической обработки на структуру и свойства циркония: Учебное пособие для вузов / И.И. Чернов, Б.А. Калинин, С.Ю. Бинюкова, М.С.Стальцов.– М.: МИФИ, 2007. – 84 с.
4. Чернов И.И., Калинин Б.А. Поведение гелия в конструкционных материалах ядерных и термоядерных реакторов: Учеб.-метод. пособие для вузов. – М.: МИФИ, 2005. – 60 с.
5. Сплавы ванадия на пороге широкого применения в энергетике / Б.А. Калинин, М.С. Стальцов, А.Г. Тищенко, И.И. Чернов // Цветные металлы. – 2016. – № 11. – С. 77–86.

Перечень используемых средств диагностики результатов учебной деятельности

1. Контрольная работа.
2. Зачет.

Примерный перечень заданий по управляемой самостоятельной работе студентов (рекомендуемые разделы)

Контрольные задания по темам:

1. Изучение учебного материала по теме 1: Виды коррозионного и радиационного повреждения циркониевых сплавов.
2. Изучение учебного материала по теме 3: Радиационно-водородное охрупчивание корпусных сталей перлитного класса.

Рекомендации по контролю качества усвоения знаний и проведение аттестации

Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой участвовать в проведении мероприятия повторно.

Контрольная работа проводится в письменном виде и включает 5 вопросов, на ее выполнение отводится 90 мин. По согласованию с преподавателем при подготовке ответа могут использоваться калькуляторы и справочные пособия. Оценка результатов контрольных работ проводится по десятибалльной шкале.

Текущая аттестация по учебной дисциплине проводится в форме зачета. К сдаче зачета допускаются студенты, имеющие положительную (выше четырех по десятибалльной шкале) оценку текущей успеваемости.

Методика формирования итоговой оценки

Итоговая оценка формируется на основе:

1. Правил проведения аттестации студентов (Постановление Министерства образования Республики Беларусь №53 от 29 мая 2012 г.);
2. Положения о рейтинговой системе оценки знаний по дисциплине в БГУ (Приказ ректора БГУ от 18.08.2015 №382-ОД);
3. Критериев оценки знаний студентов (письмо Министерства образования от 22.12.2003 г.)

**ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
С ДРУГИМИ ДИСЦИПЛИНАМИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

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)
Конструкционные материалы ядерных реакторов	Кафедра физики твердого тела	Предложений нет	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте протокол № <u> 10 </u> от 16.05 <u> </u> 2018 г.
Топливные материалы ядерных реакторов	Кафедра физики твердого тела	Предложений нет	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте протокол № <u> 10 </u> от 16.05 <u> </u> 2018 г.
Структурно-фазовые изменения при облучении	Кафедра физики твердого тела	Предложений нет	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте протокол № <u> 10 </u> от <u> </u> 16.05 <u> </u> 2018 г.

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

на / учебный год

№№ п.п.	Дополнения и изменения	Основания

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
(протокол № ____ от _____ 2018г.)

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

_____ В.В. Углов

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета

д.ф.-м.н., профессор

_____В.М. Анищик