

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
и образовательным инновациям



О.И.Чуприс

Регистрационный № УД- 6948 /уч.

Конструкционные и функциональные материалы ядерно-энергетических установок

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

1-31 04 06 Ядерные физика и технологии

2019

Учебная программа составлена на основе ОСВО 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:

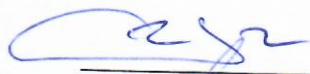
И.И. Чернов – профессор отделения ядерной физики и технологий офиса образовательных программ Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», доктор физико-математических наук, профессор.

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 № 11 от 31 мая 2019 г.);

Ученым Советом физического факультета Белорусского государственного
университета
(протокол № 12 от 27 июня 2019 г.)



зав. кафедрой физики твердого тела В.В. Углов



ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа учебной дисциплины «Конструкционные и функциональные материалы ядерно-энергетических установок» разработана для специальности 1-31 04 06 ядерные физика и технологии.

Цели и задачи учебной дисциплины

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 ядерных 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 набухания (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.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина относится к циклу дисциплин специализации.

Изучение данной учебной дисциплины базируется на учебных дисциплинах «Фазовые превращения в металлах», «Физическое материаловедение», «Радиационные эффекты в твердых телах».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Конструкционные и функциональные материалы ядерно-энергетических установок» 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-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. Осуществлять на основе методов математического моделирования оценку производственных процессов.

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.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

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.

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;

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, спо-

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.

Структура учебной дисциплины

Общее количество часов, отводимое на изучение учебной дисциплины «Конструкционные и функциональные материалы ядерно-энергетических установок» для очной формы получения высшего образования – 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.

Трудоемкость учебной дисциплины – 1 зачетная единица.

Форма текущей аттестации – зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

РАЗДЕЛ 1. Конструкционные материалы ЯЭУ.

Тема 1. Цирконий и его сплавы в ВВЭР.

Условия работы, требования и области применения циркониевых сплавов в атомной технике.

Особенности структурных превращений, структурная классификация, термическая обработка и фазовый состав циркониевых сплавов. 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.

Новые сплавы циркония в атомной технике: модифицированные сплавы типа Э110, сплав Э635 и его модификации. Механические, жаропрочные свойства, коррозионная и радиационная стойкость модифицированных циркониевых сплавов. Перспективы разработки толерантного ядерного топлива с циркониевой оболочкой применительно к условиям аварии типа LOCA.

Достоинства, недостатки и применение циркония в атомной технике.

Тема 2. Углеродистые и низколегированные стали перлитного класса (корпусные стали ВВЭР).

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

Химический состав и механические свойства реакторных конструкционных сталей перлитного класса. Роль хрома, молибдена, ванадия, никеля и других элементов в перлитных сталях. Формирование структуры сталей термической обработкой. Отпускная хрупкость.

Коррозионная стойкость перлитных сталей. Совместимость сталей с теплоносителями.

Радиационная стойкость корпусных сталей перлитного класса. Влияние облучения на критическую температуру охрупчивания. Коэффициент радиационного охрупчивания. Достоинства, недостатки и применение перлитных сталей в атомной технике.

Тема 3. Жаропрочные коррозионно-стойкие стали аустенитного класса (КМ активной зоны реакторов на быстрых нейтронах).

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.

Тема 4. Хромистые стали (КМ активной зоны реакторов на быстрых нейтронах как альтернатива аустенитным сталям).

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.

РАЗДЕЛ 2. Функциональные материалы ЯЭУ.

Тема 5. Условия работы и требования к ядерному топливу.

Понятие о ядерном топливе. Делящиеся нуклиды, воспроизводящие нуклиды. Классификация ядерного топлива по обогащению и агрегатному состоянию. Эксплуатационные характеристики ядерного топлива: глубина выгорания, энергонапряженность. Процессы в ядерном топливе при его выгорании.

Тема 6. Металлическое ядерное топливо: уран, плутоний и их сплавы.

Достоинства и недостатки металлического ядерного топлива. Теплофизические и механические свойства урана. Текстура деформированного урана. Термическая обработка. Коэффициент термического роста.

Коррозия урана в кислородосодержащих средах и воде. Сплавы урана. Влияние облучения на уран и его сплавы. Радиационный рост, радиационное распухание U и его сплавов. Твердое и газовое распухание. Радиационная ползучесть. Влияние облучения на теплопроводность урана.

Совместимость U и его сплавов с конструкционными материалами оболочек ТВЭЛов и теплоносителями. Применение U и его сплавов в ядерных реакторах.

Физические и механические свойства плутония. Изотопный состав плутония. Кинетика фазовых превращений в плутонии. Коррозионная стойкость плутония. Сплавы плутония. Сплавы плутония с ураном. Сплавы системы уран-плутоний-фиссиум. Самооблучение плутония и его сплавов. Применение Pu и его сплавов в ядерных реакторах.

Физические и механические свойства тория. Важнейшие сплавы тория. Применение Th и его сплавов в ядерных реакторах.

Тема 7. Керамическое ядерное топливо.

Оксидное ядерное топливо. Диоксид урана, диоксид плутония и смешанное (MOX) уран-плутониевое топливо Теплофизические свойства оксид-

ного ядерного топлива. Влияние различных факторов и выгорания на теплофизические свойства. Термическая и радиационная ползучесть. Структурные изменения при выгорании. Радиационное доспекание. Состояние и поведение продуктов деления в оксидном ядерном топливе. Радиационное распухание и выделение газообразных продуктов деления из оксидного ядерного топлива. Применение оксидного топлива в ядерных реакторах.

Карбидное ядерное топливо. Свойства карбидов урана и плутония. Совместимость карбидов урана и плутония с конструкционными материалами. Влияние облучения на свойства карбидного топлива. Радиационное распухание монокарбида и смешанных карбидов. Перестройка структуры топлива в результате облучения. Выделение газообразных продуктов деления (ГПД) из смешанных карбидов урана и плутония. Поведение твердых продуктов деления. Применение карбидного топлива в ядерных реакторах.

Нитридное ядерное топливо. Свойства нитридного топлива. Поведение нитридного топлива под облучением. Радиационное распухание. Выделение ГПД. Поведение твердых продуктов деления. Совместимость нитридного топлива с оболочками твэлов и теплоносителями. Применение нитридного топлива в ядерных реакторах.

Тема 8. Материалы с особыми ядерно-физическими свойствами.

Материалы с низким сечением захвата тепловых нейтронов: алюминий, цирконий, магний, бериллий и их сплавы.

Основные материалы стержней управления и защиты (СУЗ). Другие материалы органов регулирования. Выгорающие поглотители.

Материалы замедлителей, отражателей и защиты. Обычная вода. Тяжелая вода. Замедлители из других водородосодержащих материалов. Графит. Отражатели. Материалы защиты.

Учебно-методическая карта учебной дисциплины

Номер раздела	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Аудиторный контроль УСР	Количество часов УСР (ЛО)	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские Занятия	Лабораторные занятия			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Цирконий и его сплавы в ВВЭР.	2				2		Контрольная работа
2	Углеродистые и низколегированные стали перлитного класса (корпусные стали ВВЭР).	2						
3	Жаропрочные коррозионно-стойкие стали аустенитного класса (КМ активной зоны реакторов на быстрых нейтронах).	2						
4	Хромистые стали (КМ активной зоны реакторов на быстрых нейтронах как альтернатива аустенитным сталям).	2						
5	Условия работы и требования к ядерному топливу.	2						
6	Металлическое ядерное топливо: уран, плутоний и их сплавы.	2				2		Контрольная работа
7	Керамическое ядерное топливо.	2						
8	Материалы с особыми ядерно-физическими свойствами.	2						
								зачет

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.
3. Радиационные процессы и явления в твердых телах: Учебное пособие / В.В. Углов. – Минск: Вышэйшая школа, 2016. – 188 с.

Перечень дополнительной литературы

1. 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.
2. 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.
3. 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 рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется осуществлять в форме контрольной работы на занятиях УСР.

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 выполнить его в дополнительное время.

Оценка по каждому контрольному мероприятию выставляется по десятибалльной шкале.

Оценка текущей успеваемости (Т) рассчитывается как среднее оценок за каждое контрольное мероприятие (контрольная работа (К1, К2), посеща-

емость учебных занятий (П):

$$T = \frac{K1+K2+П}{3}.$$

Оценка текущей успеваемости должна быть не ниже 4 баллов, оценка ниже 4 баллов считается неудовлетворительной. 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.

Формой текущей аттестации по дисциплине «Конструкционные и функциональные материалы ядерно-энергетических установок» учебным планом предусмотрен зачет. Студент допускается к зачету при оценке текущей успеваемости $T \geq 4$. Итоговый контроль по курсу (И) проводится в виде опроса в устной форме в соответствии со списком вопросов к зачету. При итоговой отметке $I \geq 4$ материал по курсу считается зачтенным.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Тема 1. Цирконий и его сплавы.

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.

(Форма контроля – контрольная работа).

Тема 6. Металлическое ядерное топливо: уран, плутоний и их сплавы.

Достоинства и недостатки металлического ядерного топлива. Теплофизические и механические свойства урана.

Коррозия урана в кислородосодержащих средах и воде. Сплавы урана. Влияние облучения на уран и его сплавы. Радиационный рост, радиационное распухание урана и его сплавов. Твердое и газовое распухание. Радиационная ползучесть. Влияние облучения на теплопроводность урана.

Совместимость урана и его сплавов с конструкционными материалами оболочек твэлов и теплоносителями. Применение урана и его сплавов в ядерных реакторах.

(Форма контроля – контрольная работа).

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины (эвристический, проективный, практико-ориентированный)

При организации образовательного процесса используется *метод анализа конкретных ситуаций (кейс-метод)*, который предполагает:

- приобретение студентом знаний и умений для решения практических задач;
- анализ ситуации, используя профессиональные знания, собственный опыт, дополнительную литературу и иные источники.

При организации образовательного процесса также используется *практико-ориентированный подход*, который предполагает:

- освоение содержания образования через решение практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов, развитие предпринимательской культуры;
- использование процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

При изучении учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- поиск (подбор) и обзор литературы и электронных источников по индивидуально заданной проблеме курса;
- изучение материала, вынесенного на самостоятельную проработку.

Контрольные задания

1. Изучение учебного материала по теме «Цирконий и его сплавы».
2. Изучение учебного материала по теме «Металлическое ядерное топливо: уран, плутоний и их сплавы».

Примерный перечень вопросов к зачету

1. Эксплуатационные условия и требования к конструкционным материалам современных и перспективных ЯЭУ.
2. Условия работы, требования и области применения циркониевых сплавов в атомной технике.

3. Механические, жаропрочные свойства, коррозионная и радиационная стойкость модифицированных циркониевых сплавов.
4. Коррозионная стойкость перлитных сталей. Совместимость сталей с теплоносителями.
5. Достоинства, недостатки и применение перлитных сталей в атомной технике.
6. Классификация аустенитных сталей по виду упрочнения, упрочняющие фазы в жаропрочных сталях.
7. Основные аустенитные стали, их достоинства, недостатки и применение в отечественном и зарубежном реакторостроении.
8. Новые направления разработки реакторных жаропрочных и радиационно-стойких хромистых сталей.
9. Совместимость хромистых сталей с теплоносителями.
10. Классификация ядерного топлива по обогащению и агрегатному состоянию.
11. Эксплуатационные характеристики ядерного топлива: глубина выгорания, энергонапряженность.
12. Радиационный рост, радиационное распухание урана и его сплавов.
13. Совместимость урана и его сплавов с конструкционными материалами оболочек твэлов и теплоносителями.
14. Теплофизические свойства оксидного ядерного топлива.
15. Совместимость карбидов урана и плутония с конструкционными материалами.
16. Материалы с низким сечением захвата тепловых нейтронов.
17. Материалы замедлителей, отражателей и защиты.

**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 № 11 от 31.05.2019 г.
Структурно-фазовые изменения при облучении	Кафедра физики твердого тела	Предложений нет	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте протокол № 11 от 31.05.2019 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 _____ 201__ 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