

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**и.о. директора физтех-школы  
физики и исследований им.  
Ландау**

**А.А. Воронов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Взаимодействие излучения с веществом
<b>по направлению:</b>	Ядерные физика и технологии
<b>профиль подготовки:</b>	Ядерная физика, УТС и компьютерные методы в физике Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра плазменной энергетики
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 120 всего, в том числе:

- лекции: 30 час.
- семинары: 90 час.
- лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 75 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 225, всего зач. ед.: 5

Программу составил: В.В. Лиханский, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры плазменной энергетики 04.06.2020

## Аннотация

Данный курс лекций посвящен вопросам воздействия на различные материалы и среды различных типов излучения: электромагнитного – лазерного излучения, альфа и бета частиц, высокоэнергетических ионов, нейтронного излучения. Рассматриваются эффекты, возникающие при взаимодействии излучения с материалами, а также изменение оптических, теплофизических и механических свойств материалов и сред. Рассматриваются эффекты нелинейных взаимодействий и влияние этих эффектов на распространение излучений.

В лекциях рассматривается целый ряд физических эффектов при взаимодействии лазерного излучения с резонансными средами:

эффект Дике сужения линий; решение Франца-Нодвига для волны насыщения в резонансно поглощающих и резонансно усиливающих средах; солитонные режимы распространения света, симулоны и фотонное эхо; явление светоиндуцированного дрейфа. Неустойчивости волнового фронта лазерных импульсов в резонансных средах.

Рассматриваются процессы в неорганических материалах при облучении высоко энергетичными частицами. Ядерное топливо – керамическое и металлическое. Эффекты распухания, эволюция микро- и макроструктуры материалов. Изменения теплопроводности и механических свойств облученных материалов. Коррозионные процессы в условиях радиационного облучения материалов. Цирконий и его применение в ядерных реакторах. Поглощение водорода в цирконии. Замедленное гидридное растрескивание. Коалесценция и рост гидридов.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

Дать базовые знания о физических механизмах, протекающих в твердых, газовых и жидких средах, а также о возможных изменениях оптических, теплофизических и механических свойств материалов при воздействии на них лазерного или нейтронного излучения.

### Задачи дисциплины

- Развить представления о нелинейных и когерентных явлениях при взаимодействии лазерного излучения с резонансными и нерезонансными средами.
- Получить знания и возможность выполнять оценки по возможным результатам поведения сред под воздействием лазерного или нейтронного излучения
- По окончании курса, предполагается, что студенты овладеют методами теории нелинейной и когерентной оптики, уравнениями и теоретическими подходами для описания поведения точечных и протяженных дефектов в твердых телах, ознакомятся с экспериментальными результатами по изменению микроструктуры и свойств реакторных материалов, используемых в атомной энергетике.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
ОПК-2 Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы	ОПК-2.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
ОПК-3 Способен оформлять результаты научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций с использованием систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ	ОПК-3.1 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации

ПК-2 Готов применять методы исследования и расчета процессов, происходящих в современных физических установках и устройствах в области ядерной физики и технологий	ПК-2.1 Знает методы исследования и расчета процессов, происходящих в современных физических установках и устройствах в области ядерной физики и технологий
ПК-3 Способен объективно оценить предлагаемое решение или проект по отношению к современному мировому уровню, подготовить экспертное заключение	ПК-3.1 Знает современный уровень развития науки и технологии, профессиональные проблемы в своей предметной области ПК-3.3 Владеет навыками экспертной оценки предлагаемых решений или проектов

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

порядки численных величин, характерные для процессов взаимодействия лазерных импульсов с различными средами.;

общие подходы к решению прикладных и теоретических задач в области физических процессов в топливе ядерных реакторов;

основные теплофизические и механические свойства ядерного топлива;

основные характеристики эволюции микроструктуры, теплофизических и механических свойств ядерного топлива с ростом выгорания.

уметь:

абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;

квалифицированно использовать полученные знания для решения простейших практических задач взаимодействия лазерных импульсов с различными средами;

пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных, прикладных и технологических задач;

делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;

производить численные оценки по порядку величины;

делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;

видеть в технических задачах физическое содержание;

осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;

эффективно использовать полученную методическую подготовку в области решения задач физики процессов в топливе ядерных реакторов для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

владеть:

практическими навыками исследования и решения теоретических и прикладных задач;

навыками теоретического анализа реальных задач в разных областях физики процессов в топливе ядерных реакторов;

умением искать теоретические объяснения экспериментальным результатам и экспериментальные подтверждения теоретическим моделям

навыками освоения большого объема информации;

культурой постановки и моделирования физических задач, навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления их с теоретическими расчетами;

навыками самостоятельной работы с учебной, научной и справочной литературой, ведения поиска и ориентирования в библиографии.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост.

		лекции	семинары	лаборат. работы	работа
1	Распространение и взаимодействие лазерных импульсов с резонансными средами.	5	15		10
2	Термическое воздействие импульсов лазерного излучения на материалы.	5	15		10
3	Точечные и протяженные дефекты в реакторных материалах.	5	15		10
4	Циркониевые сплавы в условиях эксплуатации в реакторах с водяным охлаждением.	3	9		10
5	Физические процессы в топливе ядерных реакторов.	4	12		13
6	Эволюция микроструктуры, теплофизических и механических свойств ядерного топлива с ростом выгорания.	4	12		12
7	Выход газовых продуктов деления из топлива и термомеханическое поведение тепловыделяющих элементов.	4	12		10
Итого часов		30	90		75
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		225 час., 5 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

##### Семестр: 1 (Осенний)

##### 1. Распространение и взаимодействие лазерных импульсов с резонансными средами.

Вывод уравнений для описания взаимодействия лазерных импульсов с резонансными средами. Различные режимы взаимодействия лазерного излучения с резонансными средами. Когерентное взаимодействие: фотонное эхо,  $2\pi$ - и  $\pi$ -импульсы, светоиндуцированная прозрачность. Волны просветления в резонансных поглощающих средах. Эффект Дике. Охлаждение атомов резонансными лазерными пучками. Эффект светоиндуцированного дрейфа атомов (молекул) в лазерном поле и возможность разделения изотопов. Резонансное преобразование частот в многоуровневых средах

##### 2. Термическое воздействие импульсов лазерного излучения на материалы.

Элементы теории лазерной резки и лазерной сварки. Воздействие лазерных импульсов на загрязненные нефтью водные поверхности. Введение в технологию модификации поверхностных слоев твердых материалов (сплавов) с использованием импульсов лазерного излучения.

##### 3. Точечные и протяженные дефекты в реакторных материалах.

Точечные дефекты в твердых телах. Механизмы образования точечных дефектов в условиях термодинамического равновесия и при наличии радиационного облучения. Дислокации, дислокационные петли. Газонаполненные пузырьки и вакансионная пористость. Преципитаты - включения вторичных фаз.

##### Семестр: 2 (Весенний)

#### 4. Циркониевые сплавы в условиях эксплуатации в реакторах с водяным охлаждением.

Механические, физические и коррозионные свойства циркониевых сплавов. Физические процессы, роль легирования и микроструктуры, которые определяют режимы и скорость коррозии циркониевых сплавов. Эволюция микроструктуры и механических свойств циркониевых сплавов в условиях реакторного облучения. Модели роста оксидных пленок. Наводороживание циркониевых сплавов, гидриды в циркониевых оболочках тепловыделяющих элементов.

#### 5. Физические процессы в топливе ядерных реакторов.

Деления ядер в топливе. Осколки деления, длины торможения ядер. Процессы, определяющие диффузию атомов в ядерном топливе. Выход осколков деления из топлива. Нарботка и неоднородное распределение плутония по радиусу топливной таблетки. Оксидное топливо с содержанием гадолиния. Процессы, определяющие теплопроводность топлива на основе диоксида урана.

#### 6. Эволюция микроструктуры, теплофизических и механических свойств ядерного топлива с ростом выгорания.

Микроструктура ядерного топлива до облучения в реакторе. Рост топливных зерен. Процесс радиационного доспекания топлива. Распухание топлива - твердотельное и газовое. Формирования рим-структуры на краю топливных таблеток при высоких выгораниях. Скорость формоизменения топливных таблеток при наличии термомеханических напряжений - ползучесть поликристаллического топлива. Зависимость теплопроводности диоксидного топлива от температуры и выгорания.

#### 7. Выход газовых продуктов деления из топлива и термомеханическое поведение тепловыделяющих элементов.

Феноменология поведения газовых продуктов деления в топливе на основе диоксида урана. Формирование и рост внутриверенных и межверенных газовых пузырьков в процессе эксплуатации топлива. Эффект перколяции межверенной пористости в топливе. Модели выхода стабильных и радиоактивных продуктов деления из топлива. Термомеханическое взаимодействие топливных таблеток с оболочкой твэла. Эффект замедленного гидридного растрескивания. Эффект йодного растрескивания оболочки твэла под напряжением. Термомеханическое поведение твэлов и выход активности при разгерметизации.

### 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

### 6. Перечень рекомендуемой литературы

#### Основная литература

1. Атом в сильном световом поле [Текст]/Н. Б. Делоне, В. П. Крайнов, -М., Энергоатомиздат, 1984
2. Перспективные радиационно-пучковые технологии обработки материалов [Текст] : учебник для вузов / Грибков, В. А.[и др.]; под ред. Б. А. Калина; Рек.М-вом образования РФ .— М : Круглый год, 2001 .— 528 с.
3. Металловедение циркония [Текст], монография/Д. Дуглас , -М., Атомиздат, 1975
4. Теория упругости [Текст] / С. П. Тимошенко, Дж. Гудьер; пер. с англ. М. И. Рейтмана; под ред. Г. С. Шапиро - М.Наука,1979
5. Теория дислокаций [Текст]/Дж. Хирт, И. Лоте , -М., Атомиздат, 1972
6. Введение в физику твердого тела [Текст] : учебник для вузов / Ч. Киттель ; пер. под ред. А. А. Гусева .— 2-е изд., стереотип. / перепеч. с изд. 1978 г. — М. : Медиа Стар, 2006 .— 792 с.

7. В.С.Летохов. Селективное действие лазерного излучения на вещество. УФН. 1978, т.125. №1.
8. П.Г.Крюков, В. С. Летохов. Распространение импульсов света в резонансно усиливающей (поглощающей) среде. УФН. 1969, т. 99. №2.
9. Л.А.Большов, В.В.Лиханский. Когерентное взаимодействие импульсов излучения с резонансными многоуровневыми средами. Квантовая электроника. 1985, т.12, №7.
10. Р.В.Арутюнян, В.Ю.Баранов, Л.А.Большов и др. Воздействие лазерного излучения на материалы. 1989, Москва, Наука.
11. В.В. Лиханский. Нелинейная оптика многоуровневых сред и многоэлементных систем. Диссертация д.ф.-м.н, 1990 г.
12. D.R.Olander, Fundamental Aspects of Nuclear Reactor Fuel Elements, TID-26711-P1, U.S. Department of Commerce Springfield, 1976.
13. Ю.Г. Дегальцев, Н.Н. Пономарев-Степной, В.Ф. Кузнецов. «Поведение высокотемпературного ядерного топлива при облучении», М. Энергоатомиздат, 1987.

#### Дополнительная литература

1. Введение в физику лазеров [Текст], [учеб. пособие для вузов] /А. Мэйтлэнд, М. Данн ; пер. с англ. В. А. Батанова ; под ред. С. И. Анисимова. -М., Наука, 1978
2. Интенсивные резонансные взаимодействия в квантовой электронике [Текст] / В. М. Акулин, Н. В. Карлов .— М. : Наука, 1987 .— 312 с.
3. Введение в теорию неупорядоченных систем [Текст], [монография]/И. М. Лифшиц, С. А. Гредескул, Л. А. Пастур, -М., Наука, 1982
4. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 5, Ч. 1 : Статистическая физика : учеб. пособие для ун-тов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского .— 5-е изд., стереотип. — М. : Физматлит, 2001, 2002, 2005, 2010 .— 616 с.
5. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 10 : Физическая кинетика : учеб. пособие для вузов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского .— 2-е изд., испр. — М. : Физматлит, 2001, 2002, 2007 .— 536 с.
6. Н.В.Карлов, А.М.Прохоров. Селективные процессы на границе раздела двух сред, индуцированные резонансным лазерным излучением. УФН. 1977, т.123. №1.
7. В.Е.Захаров, С.В.Манаков, С.П.Новиков, Л.П.Питаевский. Теория солитонов. Метод обратной задачи. 1980, Москва, Наука.
8. C.Anghel, Studies of transport in oxides on Zr-based materials< Stockholm, Sweden, 2004.

#### **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

Электронная библиотека АО "ГНЦ РФ ТРИНИТИ" на внутреннем сайте <http://triniti.ru/>  
 Электронная библиотека МФТИ

#### **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

#### **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, изучающий курс "Взаимодействие излучения с веществом", должен иметь представления об основных эффектах и процессах, определяющих режимы распространения лазерного излучения в средах и знать и оценивать возможные микроструктурные изменения в твердых телах (сплавах и в ядерном топливе) в результате использования в реакторах, должен научиться применять знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные свойства резонансных и нелинейных сред, определяющие режимы распространения лазерных импульсов. Уметь получать решения для точно решаемых задач. Студент должен знать основные процессы, протекающие в различных материалах при лазерном и нейтронном облучении и определяющие свойства объекта.

Студенту необходимо уметь выполнять оценки для возможности самостоятельного получения параметрических зависимостей при обосновании приближенных решений. Для этого студенту необходимо освоить имеющиеся классические решения как для задач из области нелинейной и когерентной оптики, так и ряда задач из курсов теоретической физики, физики твердого тела и др

Среди точно решаемых задач в первую очередь необходимо сделать упор на изучении одномерных задач, стационарных и простейших нестационарных задач, включая примеры солитонных решений и решений в виде стационарных волн, распространяющихся с постоянной скоростью.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- решение задач, предлагаемых студентам на лекциях и для домашних занятий;
- подготовку к занятиям, дифференцированному зачету и экзамену.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Показателем владения материалом служит умение решать задачи и выполнять упрощенные оценки вкладов различных процессов в интегральный эффект. Для формирования умения применять теоретические знания на практике студенту необходимо решать как можно больше задач. При решении задач каждое действие необходимо аргументировать, ссылаясь на известные теоретические сведения.

При подготовке к практическим занятиям необходимо повторять ранее изученные основные определения, формулировки теорем. В начале занятия, как правило, проводится короткий (10-15 минут) опрос по материалу прошедших занятий в устной или письменной форме. Обычно придерживаются следующей схемы: изучение материала лекции по конспекту в тот же день, когда была прослушана лекция (10-15 минут); повторение материала накануне следующей лекции (10-15 минут), проработка учебного материала по конспектам лекций, учебной и научной литературе, подготовка ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения (1 час неделю), подготовка к практическому занятию, решение задач (1 час). Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к лектору.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Ядерная физика и технологии
<b>профиль подготовки:</b>	Ядерная физика, УТС и компьютерные методы в физике Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра плазменной энергетики
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 2 (весенний) - Экзамен

**Разработчик:** В.В. Лиханский, д-р физ.-мат. наук, профессор



## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
ОПК-2 Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы	ОПК-2.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
ОПК-3 Способен оформлять результаты научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций с использованием систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ	ОПК-3.1 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ПК-2 Готов применять методы исследования и расчета процессов, происходящих в современных физических установках и устройствах в области ядерной физики и технологий	ПК-2.1 Знает методы исследования и расчета процессов, происходящих в современных физических установках и устройствах в области ядерной физики и технологий
ПК-3 Способен объективно оценить предлагаемое решение или проект по отношению к современному мировому уровню, подготовить экспертное заключение	ПК-3.1 Знает современный уровень развития науки и технологии, профессиональные проблемы в своей предметной области
	ПК-3.3 Владеет навыками экспертной оценки предлагаемых решений или проектов

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Взаимодействие излучения с веществом» обучающийся должен:

### знать:

порядки численных величин, характерные для процессов взаимодействия лазерных импульсов с различными средами.;

общие подходы к решению прикладных и теоретических задач в области физических процессов в топливе ядерных реакторов;

основные теплофизические и механические свойства ядерного топлива;

основные характеристики эволюции микроструктуры, теплофизических и механических свойств ядерного топлива с ростом выгорания.

### уметь:

абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;

квалифицированно использовать полученные знания для решения простейших практических задач взаимодействия лазерных импульсов с различными средами;

пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных, прикладных и технологических задач;

делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;

производить численные оценки по порядку величины;

делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;

видеть в технических задачах физическое содержание;

осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;

эффективно использовать полученную методическую подготовку в области решения задач физики процессов в топливе ядерных реакторов для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

### владеть:

практическими навыками исследования и решения теоретических и прикладных задач;  
навыками теоретического анализа реальных задач в разных областях физики процессов в топливе ядерных реакторов;  
умением искать теоретические объяснения экспериментальным результатам и экспериментальные подтверждения теоретическим моделям  
навыками освоения большого объема информации;  
культурой постановки и моделирования физических задач, навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления их с теоретическими расчетами;  
навыками самостоятельной работы с учебной, научной и справочной литературой, ведения поиска и ориентирования в библиографии.

### **3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю**

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия или в конце занятия по пройденной теме.

### **4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

Промежуточная аттестация по дисциплине «Взаимодействие излучения с веществом» осуществляется в форме дифференцированного зачета и экзамена.

Перечень контрольных вопросов для сдачи дифференцированного зачета в 9-ом семестре:

1. Взаимодействия лазерного излучения с линейным осциллятором. Взаимодействия излучения с ангармоническим осциллятором.
2. Взаимодействия лазерных импульсов с двухуровневой средой. Взаимодействия лазерных импульсов света с многоуровневыми средами.
3. Поляризация среды. Релаксационные процессы. Неоднородное и однородное уширение резонансных переходов.
4. Механизмы уширения. Эффект Дике сужения линий.
5. Когерентное и некогерентное взаимодействие с резонансными средами.
6. Эффекты когерентного взаимодействия: фотонное эхо и самоиндуцированная прозрачность.  $2\pi$ -импульсы.
7. Когерентное возбуждение многоуровневых сред,  $\pi$ -импульсы.
8. Нелинейное насыщение неоднородно и однородно уширенных резонансных переходов.
9. Нелинейные режимы распространения света. Решение Франца-Нодвига для волны насыщения в резонансно поглощающих средах.
10. Солитонные режимы распространения света.  $2\pi$ -импульсы в поглощающих средах,  $\pi$ -импульсы в усиливающих средах.
11. Понятие квазиэнергетических состояний атомов в резонансном поле электромагнитной волны. Инверсия резонансных переходов. Неадиабатическая инверсия при сканировании частоты перехода (излучения).
12. Многоквантовые процессы преобразования частот в некогерентных режимах взаимодействия.
13. Когерентные процессы в резонансных многоуровневых средах. Когерентное многоволновое взаимодействие. Симултоны. Управление импульсами одной частоты излучением другой частоты.
14. Явление светоиндуцированного дрейфа. Ускорение атомов (молекул) в поле плоской бегущей волны.
15. Взаимодействие атомов с полем стоячей волны. «Охлаждение» атомов резонансным излучением.
16. Нелинейное самовоздействие света. Самофокусировка и мелкомасштабная самофокусировка. Образование поперечных структур при распространении когерентных и некогерентных импульсов в резонансных средах.
17. Явление рассеяния света Мандельштама-Бриллюена. Четырехволновое рассеяние света в нелинейных средах.
18. Явление обращения волнового фронта. Модели ОВФ-зеркал на основе эффектов вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюена и четырехволнового взаимодействия.

19. Взаимодействие излучения с поверхностью металлов и полупроводников. Образование периодических структур на поверхности. Неустойчивости при взаимодействии излучения с поверхностью.
20. Лазерная резка и лазерное упрочнение поверхности материала. Физические эффекты при воздействии лазерного излучения на поверхность материалов.
21. Точечные дефекты в твердых телах.
22. Линейные дислокации. Дислокационные петли. Движение дислокаций в кристаллах и механизмы торможения дислокаций в сплавах.

Перечень контрольных вопросов для сдачи экзамена в 10-ом семестре:

1. Физические механизмы, определяющие скорость коррозии циркониевых сплавов.
2. Нодулярная и равномерная коррозия циркониевых сплавов. Эффект перелома при равномерной коррозии циркониевых сплавов.
3. Эволюция микроструктуры и механических свойств циркониевых сплавов в условиях реакторного облучения.
4. Модели роста оксидных пленок.
5. Наводороживание циркониевых сплавов. Выпадение гидридов.
6. Замедленное гидридное растрескивание.
7. Йодное растрескивание оболочек тепловыделяющих элементов.
8. Эффекты коаллесценции в металлах и сплавах в условиях реакторного облучения.
9. Физические процессы в топливе ядерных реакторов.
10. Деления ядер в топливе. Осколки деления, длины торможения ядер.
11. Процессы, определяющие диффузию атомов в ядерном топливе.
12. Нарботка и неоднородное распределение плутония по радиусу топливной таблетки.
13. Процессы, определяющие теплопроводность топлива на основе диоксида урана.
14. Распухание топлива - твердотельное и газовое.
15. Эволюция микроструктуры ядерного топлива на основе диоксида урана.
16. Зависимость теплопроводности диоксидного топлива от температуры и выгорания.
17. Эволюция теплофизических и механических свойств ядерного топлива с ростом выгорания.
18. Выход газовых продуктов деления из топлива и термомеханическое поведение тепловыделяющих элементов.
19. Термомеханическое взаимодействие топливных таблеток с оболочкой твэла.
20. Эффект йодного растрескивания оболочки твэла под напряжением.
21. Термомеханическое поведение твэлов в реакторах с водяным охлаждением и выход активности в теплоноситель при разгерметизации.

Примеры экзаменационных билетов (заданий, тестов и др. материалов, используемых для проведения зачета, экзамена):

Билет 1.

- 1.1 Фотонное эхо и эффект самоиндуцированной прозрачности при распространении лазерных импульсов.
- 1.2. Рост зерен в поликристаллических материалах в процессе облучения в ядерном реакторе.

Билет 2.

- 2.1. Эффект Марангони при воздействии лазерного излучения на поверхность металла.
- 2.2. Волны насыщения в резонансно поглощающих и резонансно усиливающих средах.

Билет 3.

- 3.1. Воздействие лазерного излучения на металлические сплавы. Лазерные технологии для повышения функциональных свойств поверхностей металлов.
- 3.2. Эффекты распухания ядерного топлива.

Билет 4.

- 4.1. Ускорение резонансных частиц лазерными импульсами.

4.2. Изменение коэффициента теплопроводности материалов в процессе облучения высокоэнергетичными частицами.

Билет 5.

5.1. Многочастотные лазерные импульсы в многоуровневых резонансных средах.

5.2. Эволюция механических свойств материалов при облучении высокоэнергетичными частицами.

#### Критерии оценивания

Оценка «отлично (10)» выставляется обучающемуся, если он показал всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений;

оценка «отлично (9)» выставляется обучающемуся, если он показал всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений, но при этом были допущены небольшие неточности, которые были самостоятельно обнаружены и исправлены;

оценка «отлично (8)» выставляется обучающемуся, если он показал всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений, но при этом были допущены небольшие неточности, которые после указания экзаменатора были самостоятельно исправлены;

оценка «хорошо (7)» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает неточности в ответе или делает несущественные ошибки при решении задач;

оценка «хорошо (6)» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает небольшие ошибки в ответе и (или) при решении задач;

оценка «хорошо (5)» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но отвечает неуверенно и (или) допускает ошибки при решении задач;

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется обучающемуся, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, неточные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, если при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется обучающемуся, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, неточные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, не владеющему некоторыми разделами учебной программы, но умеющему применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется обучающемуся, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач;

оценка «неудовлетворительно (1)» выставляется обучающемуся, показавшему полное незнание учебной программы дисциплины.

#### **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

При проведении экзамена студенту предоставляется 35-50 минут на подготовку ответа по выбранной теме и решению задачи. Ответ студента длится 15-25 минут. Если задача решена неправильно, студенту указывается на его ошибку и предлагается решить заново с учетом замечания.

Дифференцированный зачет ставится по итогам текущей успеваемости, ответов на контрольные вопросы и решения контрольной задачи.

Во время проведения экзамена и зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, справочной литературой, вычислительной техникой, и своими конспектами.