

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
и образовательным инновациям


О.Н. Здрок
«11» января 2021 г.

Регистрационный № УД 9150 /уч.

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ
ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА**

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

1-31 04 06 Ядерные физика и технологии

Минск 2021

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

СОСТАВИТЕЛИ:

Н.Н. Черенда — доцент кафедры физики твердого тела Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

В.И. Шиманский — доцент кафедры физики твердого тела Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕЦЕНЗЕНТ:

О.В. Гусакова — доцент кафедры ядерной и радиационной безопасности Международного государственного экологического института им. А.Д. Сахарова Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой физики твердого тела физического факультета
Белорусского государственного университета
(протокол № 6 от 23.12.2020 г.);

Советом физического факультета
Белорусского государственного университета
(протокол № 5 от 24.12.2020 г.)

Заведующий кафедрой



В.В. Углов

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Программа учебной дисциплины «Теоретические и практические вопросы физики твердого тела» разработана для специальности 1-31 04 06 Ядерные физика и технологии в соответствии с требованиями образовательного стандарта ОСВО 1-31 04 06-2013.

Цель учебной дисциплины – познакомить студентов с основными понятиями и методами расчета в теории электронных состояний твердого тела, показать взаимосвязь между электронной структурой кристаллов и их физическими свойствами, дать общие представления о современных методах модифицирования структуры твердых тел с помощью плазменных технологий.

В учебной дисциплине рассматриваются основы теории физики твердого тела и физические принципы современных методов модифицирования структуры твердых тел: модель свободного электронного газа и ее следствия, методы расчета зонной структуры твердых тел, основы физики плазмы, теоретические основы плазменных технологий. Также даются представления о наиболее часто используемых в современной исследовательской деятельности понятиях и моделях физики твердого тела, а также об их применении при описании процессов, происходящих в результате структурной модификации под действием плазмы.

Задачей учебной дисциплины является изучение основных математических моделей в физике твердого тела, а также физических основ современных методов модифицирования структуры и свойств твердых тел с помощью плазменных технологий.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием

Учебная дисциплина относится к циклу дисциплин специализаций компонента учреждения высшего образования.

Связи с другими учебными дисциплинами: дисциплина необходима для изучения методов моделирования в физике твердого тела в курсе «Моделирование структуры и физических свойств материалов ядерной техники», а также для изучения структурных превращений в металлах и сплавах в курсе «Структурно-фазовые изменения при облучении».

Изучение дисциплины «Теоретические и практические вопросы физики твердого тела» проходит совместно с дисциплинами «Моделирование структуры и физических свойств материалов ядерной техники» и «Структурно-фазовые изменения при облучении».

В результате изучения дисциплины студенты должны:

знать:

- основные физические модели в электронной теории твердого тела;
- методы расчета зонной структуры твердых тел, связь зонной структуры с физическими свойствами твердых тел;

- основные понятия и свойства плазмы, элементарные процессы в плазме, процессы переноса и релаксации в плазме, основные типы разрядов в газах;

- основные методы анализа и определения характеристик плазмы;
- физические процессы, протекающие при взаимодействии плазмы с поверхностью твердых тел и физические основы модификации структуры твердых тел под действием плазмы.

уметь:

- рассчитывать электронные характеристики твердых тел;
- классифицировать твердые тела по структуре их зонного спектра;
- рассчитывать основные параметры плазмы по результатам ее диагностики;
- грамотно выбирать способ плазменного воздействия на твердые тела для решения научных и технологических задач;

владеть:

- основными методами моделирования электронных свойств твердых тел и расчета зонной структуры;
- базовыми принципами прогнозирования изменения структурно-фазового состояния твердых тел при воздействии на них концентрированными потоками части.

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Теоретические и практические вопросы физики твердого тела» должно обеспечить формирование следующих академических 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-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.

АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой компьютером.

АК-8. Иметь лингвистические навыки (устная и письменная коммуникация).

Профессиональные компетенции:

ПК-1. Применять знания теоретических и экспериментальных основ ядерной физики и ядерных технологий, ядерно-физических методов исследования, методов измерения физических величин, методов автоматизации эксперимента, методов планирования, организации и ведения научно-производственной, научно-педагогической, производственно-технической, опытно-конструкторской работы в области ядерно-физических технологий и атомной энергетики.

ПК-4. Взаимодействовать со специалистами смежных профилей.

ПК-5. Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно-технической работы.

ПК-6. Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационные образовательные технологии, физические основы современных технологий, оборудование и аппаратуру в исследовательской, научно-педагогической и производственной деятельности.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 10 семестре дневной формы получения высшего образования. Всего на изучение учебной дисциплины «Теоретические и практические вопросы физики твердого тела» отведено 122 часа, в том числе 50 аудиторных часов, из них: лекции – 42 часа, управляемая самостоятельная работа – 8 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3,5 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Свободный электронный газ.

1.1. Описание электронной и ионной подсистемы кристалла. Модель свободного электронного газа: классическое и квантовомеханическое описание. Уравнение Шредингера для свободного электронного газа. Тепловые и электрические свойства свободного электронного газа.

1.2 Распространение электромагнитных волн в свободном электронном газе. Плазмоны.

1.3. Электрон-электронное взаимодействие в свободном электронном газе. Электростатическое экранирование.

1.4. Поведение свободного электронного газа в магнитном поле. Циклотронная частота. Парамагнетизм Паули.

Тема 2. Структура энергетических зон в кристалле.

2.1. Построение уравнения Шредингера для электрона в кристаллической решетке. Поведение электронов в периодическом потенциале. Теорема Блоха.

2.2. Модель почти свободных электронов. Модель сильной связи. Зоны Бриллюэна.

2.3. Методы расчета зонной структуры кристалла: метод псевдопотенциала, метод функционала электронной плотности, метод присоединенных плоских волн.

2.4. Электрон-фононное взаимодействие. Метод потенциала деформации решетки.

2.5. Поверхность Ферми. Метод Харрисона построение поверхности Ферми.

2.6. Явление сверхпроводимости в кристаллах. Теория Бардина-Купера-Шриффера. Куперовские пары.

Тема 3. Основы физики плазмы.

3.1. Классификация плазмы. Основные понятия и свойства плазмы. Дебаевский радиус. Идеальность плазмы. Элементарные процессы в плазме. Процессы переноса и релаксации.

3.2. Плазма в магнитном поле. Колебания и волны в плазме. Неустойчивости в плазме.

3.3. Электрический ток в газах. Тлеющий разряд. Дуговой разряд. Искровой разряд. Коронный разряд. Магнетронный разряд. Плазменно-пучковый разряд.

3.4. Физические основы диагностики плазмы. Магнитные зонды. Электрические зонды. Спектральный анализ. Оптическая интерферометрия. Микроволновая диагностика. Корпускулярная диагностика.

Тема 4. Плазменные технологии.

4.1. Физико-химические основы взаимодействия плазмы с поверхностью. Плазмохимическое травление. Плазменные технологии переработки отходов.

4.2. Вакуумные дуговые источники плазмы и плазменные ускорители. Применение вакуумно-дугового разряда для нанесения покрытий.

4.3. Магнетронные распылительные системы. Применение метода магнетронного осаждения покрытий. Плазменно-иммерсионная имплантация.

4.4. Плазменные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле.

4.5. Физические основы управляемого термоядерного синтеза. Термоядерные реакторы.

4.6. Физические процессы, протекающие при взаимодействии высокотемпературных плазменных потоков с материалами.

4.7. Модификация структуры и свойств материалов при воздействии высокотемпературных плазменных потоков.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Свободный электронный газ.	8					2	
1.1	Описание электронной и ионной подсистемы кристалла. Модель свободного электронного газа: классическое и квантовомеханическое описание. Уравнение Шредингера для свободного электронного газа. Тепловые и электрические свойства свободного электронного газа.	2						Устный опрос, дискуссия
1.2	Распространение электромагнитных волн в свободном электронном газе. Плазмоны.	2						Устный опрос, дискуссия
1.3	Электрон-электронное взаимодействие в свободном электронном газе. Электростатическое экранирование.	2						Устный опрос, дискуссия
1.4	Поведение свободного электронного газа в магнитном поле. Циклотронная частота. Парамагнетизм Паули.	2					2	Контрольная работа
2	Структура энергетических зон в кристалле	10					2	
2.1	Построение уравнения Шредингера для электрона в кристаллической решетке. Поведение электронов в периодическом потенциале. Теорема	2						Устный опрос, дискуссия

	Блоха.							
2.2	Модель почти свободных электронов. Модель сильной связи. Зоны Бриллюэна.	2						Устный опрос, дискуссия
2.3	Методы расчета зонной структуры кристалла: метод псевдопотенциала, метод функционала электронной плотности, метод присоединенных плоских волн.	2						Устный опрос, дискуссия
2.4	Электрон-фононное взаимодействие. Метод потенциала деформации решетки.	2						Устный опрос, дискуссия
2.5	Поверхность Ферми. Метод Харрисона построение поверхности Ферми.	2						Устный опрос, дискуссия
2.6	Явление сверхпроводимости в кристаллах. Теория Бардина-Купера-Шриффера. Куперовские пары.	2					2	Контрольная работа
3.	Основы физики плазмы.	8					2	
3.1	Классификация плазмы. Основные понятия и свойства плазмы. Дебаевский радиус. Идеальность плазмы. Элементарные процессы в плазме. Процессы переноса и релаксации.	2						Устный опрос, дискуссия
3.2	Плазма в магнитном поле. Колебания и волны в плазме. Неустойчивости в плазме.	2						Устный опрос, дискуссия
3.3.	Электрический ток в газах. Тлеющий разряд. Дуговой разряд. Искровой разряд. Коронный разряд. Магнетронный разряд. Плазменно-пучковый разряд.	2						Устный опрос, дискуссия
3.4	Физические основы диагностики плазмы. Магнитные зонды. Электрические зонды. Спектральный анализ. Оптическая интерферометрия. Мик-	2					2	Устный опрос, дискуссия. Контрольная работа

	роволновая диагностика. Корпускулярная диагностика.							
4.	Плазменные технологии.	14					2	
4.1	Физико-химические основы взаимодействия плазмы с поверхностью. Плазмохимическое травление. Плазменные технологии переработки отходов.	2						Устный опрос, дискуссия.
4.2	Вакуумные дуговые источники плазмы и плазменные ускорители. Применение вакуумно-дугового разряда для нанесения покрытий.	2						Устный опрос, дискуссия.
4.3	Магнетронные распылительные системы. Применение метода магнетронного осаждения покрытий. Плазменно-иммерсионная имплантация.	2						Устный опрос, дискуссия.
4.4.	Плазменные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле.	2						Устный опрос, дискуссия.
4.5	Физические основы управляемого термоядерного синтеза. Термоядерные реакторы.	2						Устный опрос, дискуссия.
4.6	Физические процессы, протекающие при взаимодействии высокотемпературных плазменных потоков с материалами.	2						Устный опрос, дискуссия.
4.7	Модификация структуры и свойств материалов при воздействии высокотемпературных плазменных потоков.	2					2	Устный опрос, дискуссия. Контрольная работа
	ИТОГО	40					8	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Прудников В.В., Прудников П.В., Мамонова М.В. Квантово-статистическая теория твердых тел: Учебное пособие. – 2 изд. – СПб: «Лань», 2016. – 448 с.
2. Киттель, Ч. Введение в физику твердого тела / Ч. Киттель. -М.: Наука, 1978. - 791 с.
3. Ашкрофт, Н. Физика твердого тела / Н. Ашкрофт, Н. Мермин. -М.: Мир, 1979. Т. 1.- 339 с. Т 2.– 422 с.
4. Анималу, А. Квантовая теория кристаллических твердых тел /А. Анималу. –М.: Мир, 1981. –574 с.
5. Брандт Н.Б., Кульбачинский В.А. Квазичастицы в физике конденсированного состояния. М.: Физматлит, 2007. – 632 с.
6. Ф. Чен. Введение в физику плазмы. – М.: Мир, 1987.- 398 с.
7. Л.А. Арцимович, Р.З. Сагдеев. Физика плазмы для физиков. – М.: Атомиздат, 1979. – 313 с.
8. Диагностика плазмы. Под ред. Р.Хаддлстоуна и С.Леонарда. М.: Мир, 1967, 516 с.
9. Ивановский Г.Ф., Петров В.И. Ионно-плазменная обработка материалов. – М.: Радио и связь, 1986.- 232 с.
10. В.В. Углов, Н.Н. Черенда, В.М. Анищик, В.М. Асташинский, Н.Т. Квазов. Модификация материалов компрессионными плазменными потоками. Минск: БГУ, 2013, 248 с.

Перечень дополнительной литературы

1. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1966. – 417 с.
2. Зиненко, В. И. Основы физики твердого тела: учеб. пособие /В.И. Зиненко, Б.П. Сорокин, П.П. Турчин. – М.: Физматлит, 2001. – 336 с.
3. Шалимова, К.В. Физика полупроводников /К.В. Шалимова. – М.: Энергия, 1985. – 392 с.
4. Основы физических процессов в плазме и плазменных установках / С.К. Жданов, В.А. Курнаев, М.К. Романовский, И.В. Цветков; Под ред. В.А. Курнаева. М: МИФИ, 2007. 368 с.
5. Лекции по основам физики плазмы. Часть I / С.Н. Янин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 78 с.
6. Удовиченко С.Ю. Пучково-плазменные технологии для модификации конструкционных материалов и создания наноматериалов. Учебное пособие / СПб.: ГУАП. 2009. 122 с.
7. Кузнецов Г.Д., Кушхов А.Р. Ионно-плазменная обработка материалов: Курс лекций. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2008. – 180 с.

8. Моссэ, А. Л. Плазменные технологии и устройства для переработки отходов / А. Л. Моссэ, В. В. Савчин. – Минск : Беларуская навука, 2015. – 411 с.
9. Туманов Ю.Н. Плазменные и высокочастотные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле: настоящее и будущее. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 760 с.
10. Глухих В.А., Беляков В. А., Минеев А.Б, Физико-технические основы управляемого термоядерного синтеза: Учеб, пособие. СПб,: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. 348 с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Формой текущей аттестации по дисциплине «Теоретические и практические вопросы физики твердого тела» учебным планом предусмотрен экзамен.

При формировании итоговой оценки используется рейтинговая оценка знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения.

Контрольные работы проводятся в письменном виде. Каждое задание включает в себя от 5 до 10 вопросов (задач), на выполнение которых отводится 90 минут. По согласованию с преподавателем при выполнении работы студенты могут пользоваться калькуляторами и справочными пособиями.

Рейтинговая оценка является средневзвешенной оценкой четырех контрольных работ $T_P = (K_1 + K_2 + K_3 + K_4)/4$.

В случае пропуска контрольного мероприятия возможность выделения дополнительного времени на выполнение данных заданий определяется кафедрой, обеспечивающей данный курс. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить нагрузку в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные работы, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно, до сессии.

Итоговая оценка, выставляемая за изучение данного курса ($T_{И}$) складывается из экзаменационной оценки $T_{Э}$, полученной на экзамене при ответе на вопросы билета, и рейтинговой оценки T_P : с соответствующими коэффициентами $T_{И} = 0,7T_{Э} + 0,3T_P$

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

В рамках управляемой самостоятельной работы студент выполняет контрольные работы по темам учебной дисциплины. На выполнение каждой контрольной работы отводится 90 минут, выполненная работа оценивается по десятибалльной системе.

Контрольная работа № 1 выполняется после изучения темы 1.4. «Поведение свободного электронного газа в магнитном поле. Циклотронная частота. Парамагнетизм Паули».

Примерный перечень вопросов:

- решение уравнения Шредингера для свободного электрона;
- расчет концентрации свободных электронов;
- оценка теплоемкости и теплопроводности свободного электронного газа;
- применение статистики Ферми-Дирака для нахождения энергетических характеристик свободного электронного газа;
- расчет потенциала электростатического экранирования в свободном электронном газе;
- расчет парамагнитной восприимчивости Паули.

Контрольная работа № 2 выполняется после изучения темы 2.6 «Явление сверхпроводимости в кристаллах. Теория Бардина-Купера-Шриффера. Куперовские пары».

Примерный перечень вопросов:

- расчет энергетического спектра электронов в периодическом потенциале решетки;
- расчет эффективной массы электронов;
- построение зон Бриллюэна;
- определение параметров поверхности Ферми металлов и полупроводников.

Контрольная работа № 3 выполняется после изучения темы 3.4. «Физические основы диагностики плазмы. Магнитные зонды. Электрические зонды. Спектральный анализ. Оптическая интерферометрия. Микроволновая диагностика. Корпускулярная диагностика».

Примерный перечень вопросов:

- типы плазмы
- основные свойства плазмы
- элементарные процессы в плазме
- процессы переноса и релаксации.
- колебания и волны в плазме.
- неустойчивости в плазме.
- типы разряда
- основные методы диагностики параметров плазмы.

Контрольная работа № 4 выполняется после изучения темы 4.7. «Модификация структуры и свойств материалов при воздействии высокотемпературных плазменных потоков».

Примерный перечень вопросов:

- плазмохимическое травление;
- плазменные технологии переработки отходов;
- вакуумные дуговые источники плазмы и плазменные ускорители;
- применение вакуумно-дугового разряда для нанесения покрытий;
- магнетронные распылительные системы. применение метода магнетронного осаждения покрытий;
- плазменно-иммерсионная имплантация;
- плазменные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле;
- физические основы управляемого термоядерного синтеза;
- термоядерные реакторы;
- физические процессы, протекающие при взаимодействии высокотемпературных плазменных потоков с материалами;
- модификация структуры и свойств материалов при воздействии высокотемпературных плазменных потоков.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса *используются методы и приемы развития критического мышления*, которые представляют собой систему, формирующую навыки работы с информацией; понимании информации как отправного, а не конечного пункта критического мышления. Формой реализации метода может выступать подготовка устных сообщений по вопросам, связанным с экспериментальными методами определения энергетических характеристик кристаллов, теоретическое рассмотрение которых происходит в процессе лекционных занятий.

Желательным является применение *метода учебной дискуссии*, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме. Реализацию метода рекомендуется осуществлять во время представления кратких сообщений студентов, организовав дискуссию обучающихся, а также в ходе самих лекций. Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемой темы, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Основными направлениями самостоятельной работы студента являются:

- подробное ознакомление с программой учебной дисциплины;
- ознакомление со списком рекомендуемой литературы по дисциплине в целом и ее разделам;
- изучение и расширение лекционного материала преподавателя за счет специальной литературы, в частности, современных научных публикаций по изучаемым тематикам;
- подготовка к контрольным работам;
- подготовка к экзамену.

Примерный перечень вопросов к экзамену

Билет на экзамене включает два вопроса, на подготовку которых отводится не менее 45 минут. При подготовке к устному ответу допускается использование учебной и научной литературы. Вопросы в состав билетов выбираются из следующего примерного перечня:

1. Модель свободного электронного газа Друде-Лоренца.
2. Квантовомеханическое описание свободного электронного газа.
3. Статистика Ферми-Дирака для свободного электронного газа.
4. Уравнение Шредингера для свободного электронного газа.
5. Теплоемкость, теплопроводность и электропроводность свободного электронного газа.
6. Распространение электромагнитных волн в свободном электронном газе.
7. Плазмоны.
8. Электрон-электронное взаимодействие в свободном электронном газе.
9. Электростатическое экранирование.
10. Поведение свободного электронного газа в магнитном поле. Циклотронная частота.
11. Парамагнетизм Паули.
12. Уравнения Шредингера для электрона в кристаллической решетке. Адиабатическое приближение.
13. Одноэлектронное приближение. Самосогласованное поле.
14. Теорема Блоха.
15. Модель почти свободных электронов.
16. Модель сильной связи.
17. Метод псевдопотенциала.
18. Метод функционала электронной плотности.
19. Метод присоединенных плоских волн.
20. Электрон-фононное взаимодействие. Метод потенциала деформации решетки.
21. Поверхность Ферми. Построение поверхности Ферми.

22. Явление сверхпроводимости в кристаллах.
23. Теория Бардина-Купера-Шриффера для сверхпроводимости.
24. Классификация плазмы. Основные понятия и свойства плазмы.
25. Дебаевский радиус. Идеальность плазмы.
26. Элементарные процессы в плазме.
27. Процессы переноса и релаксации.
28. Плазма в магнитном поле.
29. Колебания и волны в плазме.
30. Неустойчивости в плазме.
31. Тлеющий разряд. Дуговой разряд.
32. Искровой разряд. Коронный разряд.
33. Магнетронный разряд. Плазменно-пучковый разряд.
34. Физические основы диагностики плазмы.
35. Магнитные зонды. Электрические зонды.
36. Спектральный анализ. Оптическая интерферометрия.
37. Микроволновая диагностика. Корпускулярная диагностика.
38. Физико-химические основы взаимодействия плазмы с поверхностью. Плазмохимическое травление.
39. Плазменные технологии переработки отходов.
40. Вакуумные дуговые источники плазмы и плазменные ускорители.
41. Применение вакуумно-дугового разряда для нанесения покрытий.
42. Магнетронные распылительные системы. Применение метода магнетронного осаждения покрытий.
43. Плазменно-иммерсионная имплантация.
44. Плазменные процессы получения и обработки материалов в ядерном топливном цикле.
45. Физические основы управляемого термоядерного синтеза.
46. Термоядерные реакторы.
47. Физические процессы, протекающие при взаимодействии высокотемпературных плазменных потоков с материалами.
48. Модификация структуры и свойств материалов при воздействии высокотемпературных плазменных потоков.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

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)
Структурно-фазовые изменения при облучении	Кафедра физики твердого тела	нет	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 6 от 23.12.2020)
Моделирование структуры и физических свойств материалов ядерной техники	Кафедра физики твердого тела	нет	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте (протокол № 6 от 23.12.2020)

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО
на ____/____ учебный год

№ № пп	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
(протокол № ____ от _____ 20__ 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