

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ФИЗИКИ ПЛАЗМЫ

ОДОБРЕНО НТС ЛАПЛАЗ

Протокол № 1/04-577

от 27.04.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАЗМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 16.03.02 Высокотехнологические плазменные и  
энергетические установки

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

## АННОТАЦИЯ

В курсе учебной дисциплины изучаются различные численные методы для решения задач, связанных с моделированием плазменных процессов, а также основы теоретического и алгоритмического моделирования задач физики плазмы.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- обучение студентов использованию численных методов для решения задач, связанных с моделированием плазменных процессов;
- обучение студентов построению моделей для расчета конкретной научно-технической задачи в области физики плазмы;
- ознакомление студентов с основами теоретического и алгоритмического моделирования задач физики плазмы.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Курс лабораторных работ является одним из основных практических курсов, проводимых в процессе обучения. Для успешного освоения курса студенты должны предварительно прослушать курсы лекций по следующим дисциплинам:

- курс общей физики, включающий основы термодинамики, оптику, электричество и магнетизм и др.,
- статистическую физику, математический анализ, дифференциальные уравнения;
- теория вероятностей и математической статистики;
- уравнения математической физики;
- информатика.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
расчетно-экспериментальный с элементами научно-исследовательского			
Использование	Основные законы	ПК-2.3 [1] - Способен	3-ПК-2.3[1] - Знать

<p>основных законов физики плазмы и ее взаимодействия с веществом для описания и оценок параметров и характеристик исследуемых физических объектов</p>	<p>физики плазмы и ее взаимодействия с веществом для описания и оценок параметров и характеристик исследуемых физических объектов</p>	<p>использовать основные законы физики плазмы и ее взаимодействия с веществом для описания и оценок параметров и характеристик исследуемых физических объектов</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>основные понятия и законы физики плазмы и ее взаимодействия с веществом, основные понятия, законы и модели, используемые для описания, изучения и оценки параметров и характеристик исследуемых физических объектов ;</p> <p>У-ПК-2.3[1] - Уметь использовать основные законы физики плазмы и ее взаимодействия с веществом для описания и оценок параметров и характеристик исследуемых физических объектов;</p> <p>В-ПК-2.3[1] - Владеть методами получения, анализа и описания параметров и характеристик исследуемых физических объектов на основе законов физики плазмы и ее взаимодействия с веществом</p>		
<p>проектно-конструкторский</p>		<p>Проектирование элементов установок с применением САПР, оформление соответствующей технической документации.</p>	<p>Оборудование в области лазерных и плазменных технологий, САПР, техническая документация.</p>	<p>ПК-6 [1] - Способен проектировать элементы установок с применением САПР, оформлять элементы технической документации, в том числе эскизы и чертежи</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>З-ПК-6[1] - Знать основы начертательной геометрии, принципы и правила оформления элементов технической документации, в том числе эскизов и чертежей;</p> <p>У-ПК-6[1] - Уметь читать, оформлять элементы технической</p>

			документации, в том числе эскизы и чертежи ; В-ПК-6[1] - Владеть навыками оформления элементов технической документации, в том числе эскизы и чертежи, современными методами расчета и проектирования деталей и узлов приборов и установок
	инновационный		
Оформление результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в виде отчетов, статей, докладов и иной документации.	Результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, соответствующая документация.	ПК-7 [1] - Способен оформлять результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, технические отчеты и материалы для получения патентов и авторских свидетельств  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-7[1] - Знать основные правила оформления результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, технических отчетов и материалов для получения патентов и авторских свидетельств ; У-ПК-7[1] - Уметь оформлять результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, технические отчеты и материалы для получения патентов и авторских свидетельств ; В-ПК-7[1] - Владеть навыками оформления результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, технических отчетов и материалов для получения патентов и авторских свидетельств

			деятельности по физике плазмы и лазерной физике;
--	--	--	--

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (В18)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.

#### 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>8 Семестр</i>						
1	Численные методы расчета движения заряженных частиц в одночастичном, МГД и кинетическом описании	1-8	16/16/0		25	КИ-8	З-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7, З-ПК-2.3, У-ПК-2.3, В-ПК-2.3,

							3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6
2	Моделирование плазмы и движения частиц в веществе	9-12	8/8/0		25	КИ-12	3-ПК-2.3, У-ПК-2.3, В-ПК-2.3, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6, 3-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7
	<i>Итого за 8 Семестр</i>		24/24/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 8 Семестр</b>				50	3	3-ПК-2.3, У-ПК-2.3, В-ПК-2.3, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6, 3-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

<b>Обозначение</b>	<b>Полное наименование</b>
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>8 Семестр</i>	24	24	0
1-8	<b>Численные методы расчета движения заряженных частиц в одночастичном, МГД и кинетическом описании</b>	16	16	0
1 - 2	<b>Общие методы решения дифференциальных уравнений статистического, МГД и одночастичного описания плазмы.</b> Решение задачи Коши. Явный и неявный метод Эйлера. Устойчивость численных методов решения задач. Метод прогноза и коррекции. Нелинейные задачи и численные методы их решения. Решение линейной краевой задачи для обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка. Решение уравнения переноса и уравнения теплопроводности. Решение уравнения Пуассона.	Всего аудиторных часов		
		4	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 4	<b>Численные методы расчета движения заряженных частиц в электрическом и магнитном поле</b> Численные методы расчета движения заряженных частиц в электрическом и магнитном поле. Расчет топологии магнитного поля плазменных ловушек. Сеточные методы расчета распределения потенциала и электрического поля в пространстве с произвольной формой электродов. Интегрирование уравнений Максвелла - прямые и итерационные методы. Метод Рунге-Кутты.	Всего аудиторных часов		
		4	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
5 - 6	<b>Численная магнитная гидродинамика плазмы.</b> МГД приближение. Магнитная гидродинамика сжимаемого и несжимаемого течения. Численное решение задач о равновесии и устойчивости плазмы в магнитном поле. Математическая модель зет- и тета-пинчей, плазменного фокуса. Численная модель электродинамического ускорения плазмы, модель плазменной пушки. Самосогласованность замкнутой модели. Модель "водяного мешка" в магнитной гидродинамике. Условия адиабатичности. Транспортные модели в плазме. Решение уравнения непрерывности. Численное решение уравнения переноса в плазме. Поток частиц. Неоклассическая модель переноса.	Всего аудиторных часов		
		4	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
7 - 8	<b>Численные методы кинетического описания плазмы.</b> Численные методы кинетического описания плазмы. Уравнение Больцмана для функции распределения. Оператор кулоновских столкновений. Решение уравнения Власова методами преобразований Фурье-Эрмита. Модель "водяного мешка" для численного решения уравнения	Всего аудиторных часов		
		4	4	0
		Онлайн		
		0	0	0

	Власова. Устойчивость метода “с перешагиванием”. Метод расщепления в сеточных методах решения уравнения Власова.			
<b>9-12</b>	<b>Моделирование плазмы и движения частиц в веществе</b>	8	8	0
9	<b>Дискретное моделирование плазмы.</b> Моделирование плазмы методом крупных частиц. Электростатическая модель плоских заряженных листов. Общая схема алгоритма дискретной модели плазмы. Способы задания начального состояния системы. Методы взвешивания частиц и задания эффективной формы частиц. Законы сохранения в моделях. Шумы и флуктуации. Явные и неявные схемы. Модель ионной пушки и плазменного ускорителя. Моделирование пучков заряженных частиц. Проблемы полномасштабного моделирования плазмы. Моделирование пристеночного слоя плазмы.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
10	<b>Моделирование движения частиц в веществе.</b> Моделирование движения частиц в веществе. Метод Монте-Карло. Моделирование процессов взаимодействия электронов и ионов в веществе. Свободный пробег частиц в веществе. Образование и взаимодействие дефектов в веществе. Математическое моделирование процессов кластеризации.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	<b>Численный анализ экспериментальных данных.</b> Численный анализ экспериментальных данных. Общая задача аппроксимации. Методы интерполирования. Применение сплайнов и построение моделей при обработке экспериментальной информации. Особенности диагностики плазмы.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
12	<b>Моделирование собственных колебаний плазмы</b> Моделирование собственных колебаний плазмы. Затухание Ландау. Моделирование двухпучковой неустойчивости. Неустойчивость холодного пучка в горячей плазме. Моделирование ионно-звуковых колебаний в плазме. Моделирование неустойчивости Бунемана.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ



Лекционный курс предусматривает демонстрационный материал по каждой теме занятий, который представляется либо в виде слайдов, либо в виде образцов реальных устройств. Задача лектора доступно объяснить на основе прочитанного лекционного материала, как и где используются явления, модели и условия применимости.

## 7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-2.3	З-ПК-2.3	З, КИ-8, КИ-12
	У-ПК-2.3	З, КИ-8, КИ-12
	В-ПК-2.3	З, КИ-8, КИ-12
ПК-6	З-ПК-6	З, КИ-8, КИ-12
	У-ПК-6	З, КИ-8, КИ-12
	В-ПК-6	З, КИ-8, КИ-12
ПК-7	З-ПК-7	З, КИ-8, КИ-12
	У-ПК-7	З, КИ-8, КИ-12
	В-ПК-7	З, КИ-8, КИ-12

### Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	

65-69			Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64	3 – «удовлетворительно»	Е	
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	Ф	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

## 8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ К42 Numerical Methods and Modelling for Engineering : , Cham: Springer International Publishing, 2016
2. ЭИ Ю 16 Математические модели естественных наук : , Санкт-Петербург: Лань, 2022
3. ЭИ П 52 Многозначный анализ и дифференциальные включения : учебное пособие, Москва: Физматлит, 2015
4. 533 Ц27 Применение численных методов для моделирования процессов в плазме : учебное пособие для вузов, И. В. Цветков, Москва: МИФИ, 2007
5. ЭИ Ц27 Применение численных методов для моделирования процессов в плазме : учебное пособие для вузов, И. В. Цветков, Москва: МИФИ, 2007
6. ЭИ О-75 Основы физических процессов в плазме и плазменных установках : учебное пособие для вузов, С. К. Жданов [и др.], Москва: МИФИ, 2007

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 515 П52 Многозначный анализ и дифференциальные включения : , Москва: Физматлит, 2014

### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

1. Microsoft office ()
2. OSWindows 7 Pro

3. KasperskySecurity

4. Adobe acrobat

5. Mathlab

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

1. НИЯУ МИФИ (<http://www.library.mephi.ru/>)

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

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

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. Персональный Компьютер (33-103)

2. Проектор EPSON (33-103)

3. Интерактивная доска SMARTBOARD SB680IV3 (33-103)

4. 17 персональных рабочих мест компьютеров с подключением к общему серверу (В-115)

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

Курс состоит из теоретической части, на которой преподаватель дает основные понятия и определения по теме занятия и практической части, на которой разбирается типичный пример решения задачи и даются задания (задачи) студентам на закрепление материала.

В семестре студент может получить максимум 100 баллов: 50 баллов за работу в семестре и 50 баллов на зачете.

Итоговая оценка представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля и выставляется в соответствии с Положением о кредитно-модульной системе.

## **11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

Курс состоит из теоретической части, на которой преподаватель дает основные понятия и определения по теме занятия и практической части, на которой разбирается типичный пример решения задачи и даются задания (задачи) студентам на закрепление материала.

Методические указания по проведению лекций

Лекция представляет собой логическое изложение материала в соответствии с планом лекции, который сообщается студентам в начале каждой лекции, и имеет законченную форму, т. е. содержит пункты, позволяющие охватить весь материал, который требуется довести до студентов. Содержание каждой лекции имеет определенную направленность и учитывает уровень подготовки студентов. Ее цель – формирование ориентировочной основы для последующего усвоения студентами учебного материала. Главной задачей лектора является организация процесса познания студентами материала изучаемой дисциплины на всех этапах ее

освоения, предусмотренных образовательным стандартом. Лекции по курсу призваны решать две основные задачи: во-первых, информативную, т.е. сообщать студенту определенный набор теоретических знаний об изучаемой области действительности, во-вторых, развивающую, т.е. способствовать выработке навыков самостоятельной познавательной деятельности, мышления и оценки на основе полученных знаний.

Для решения названных задач при подготовке лекции преподавателю необходимо:

сформулировать цель и задачи каждой лекции;

определить содержание лекции и план ее проведения так, чтобы это отвечало поставленным задачам лекции;

разработать методы активизации познавательной деятельности студентов с учетом уровня знаний студентов;

продумать возможности использования изучаемого материала в рамках других дисциплин и в практической деятельности;

представить ссылки на источники для самостоятельного изучения материала студентами;

по материалу лекции сформулировать задачи с целью подготовки студентов к семинарам.

Тематика и содержание лекции определяются рабочей программой изучаемой дисциплины, составленной в соответствии с образовательным стандартом направления специальности подготовки.

Для передачи теоретического материала по дисциплине используются три основных типа лекций: вводная лекция, информационная лекция и обзорная лекция.

По своей структуре лекции могут быть разнообразны – это зависит от содержания и характера излагаемого материала. Однако существует общий структурный каркас, применимый к любой лекции. Прежде всего, это сообщение плана лекции студентам и строгое ему следование. В план лекции включаются наименования основных вопросов лекции, которые могут послужить базой для составления экзаменационных билетов и вопросов к зачету. В начале изложения полезно напомнить содержание предыдущей лекции, связать его с новым материалом, определить место и назначение рассматриваемой темы в дисциплине и в системе других наук.

При раскрытии вопросов темы можно применять индуктивный метод: примеры, факты, подводящие к научным выводам; можно также использовать метод дедукции: разъяснение общих положений с последующим показом возможности их приложения на конкретных примерах. По каждому из анализируемых положений следует делать вывод.

В конце лекции необходимо подвести итог сказанному.

Излагая лекционный материал, преподаватель должен ориентироваться на то, что студенты пишут конспект. Конспект помогает внимательно слушать, лучше запоминать в процессе осмысленного записывания, обеспечивает наличие опорных материалов при подготовке к семинару, зачету, экзамену. Задача лектора – дать студентам возможность осмысленного конспектирования: слушать, осмысливать, перерабатывать, кратко записывать. Средствами, помогающими конспектированию, являются: акцентированное изложение материала лекции, использование пауз, записи на доске, демонстрации иллюстративного материала, строгое соблюдение регламента занятий.

На каждую лекцию преподавателем разрабатывается план и конспект, включающие название темы, формулировку цели и задач, перечень основных разделов лекции, краткое, структурированное в соответствии с планом, содержание излагаемого материала, а также перечень вопросов, которые будут заданы по ходу лекции с целью активизации и повторения.

В ходе лекций по дисциплине предусматривается использование активных и интерактивных форм проведения занятий, в частности, применение мультимедийного проектора, а также интерактивных выступлений по принципу «вопрос – ответ», использование мела и доски, схем, таблиц и рисунков.

#### Методические указания по проведению практических занятий

Практические занятия по дисциплине направлены главным образом на закрепление и расширение полученных теоретических знаний, а также представить самостоятельные решения практических ситуаций. Практические занятия призваны углублять, расширять, детализировать знания, полученные на лекции в обобщенной форме, и содействовать выработке навыков профессиональной деятельности. Они развивают мышление, позволяют проверить знания студентов, привить навыки поиска, обобщения и изложения учебного материала и выступают как средство оперативной обратной связи. Как правило, во время практических занятий основное внимание уделяется формированию конкретных умений, навыков, что определяет содержание деятельности студентов. Структура практических занятий по дисциплине включает: постановку задач преподавателем; ответы на вопросы студентов для уточнения материала; защиту решения практических задач и др.

Автор(ы):

Цветков Игорь Владимирович, к.ф.-м.н., доцент

Рецензент(ы):

профессор МГТУ им. Баумана, Зимин А.М.