

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА ФИЗИКИ ЛАЗЕРНОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА

ОДОБРЕНО УМС ЛАПЛАЗ

Протокол № 1/08-577

от 29.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ВВЕДЕНИЕ В ЛАЗЕРНЫЙ ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ

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, экз./зач./КР/КП
7	4	144	32	16	0		42	0	Э
Итого	4	144	32	16	0	32	42	0	

АННОТАЦИЯ

Дисциплина "Введение в лазерный термоядерный синтез" основывается на фундаментальных законах, которые студенты изучили в рамках курсов "Физика лазеров" и "Физика лазерной плазмы". Она рассказывает о принципах создания лазерной плазмы при облучении в вакууме твердых мишеней лазерным излучением, основных процессах, лежащих в основе термоядерного синтеза. Также приводятся принципиальные схемы термоядерного синтеза, рассматриваются различные виды драйверов.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины "Введение в лазерный термоядерный синтез" являются формирование представлений о принципах создания лазерной плазмы при облучении в вакууме твердых мишеней лазерным излучением, изложение основных процессов, лежащих в основе термоядерного синтеза, изучение принципиальных схем прямого и непрямого термоядерного синтеза. Задача изучения дисциплины заключается в формировании компетенций, необходимых для специалиста в области физики лазерного термоядерного синтеза.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина базируется на курсах дисциплин «Физика: электричество и магнетизм», «Физика: волны и оптика», «Физика: физический практикум», «Теоретические основы электротехники», "Методы и техника лазерно-физического эксперимента", "Квантовая физика" базовой.

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 основных законов физики, оптики, лазеров и плазмы для описания и оценок	Параметры и характеристики физических объектов.	ПК-1.1 [1] - Способен использовать основные законы физики, оптики, лазеров и плазмы для описания и оценок	З-ПК-1.1[1] - Знать: основные понятия и законы физики оптики, лазеров и плазмы, основные

параметров и характеристик исследуемых физических объектов.		параметров и характеристик исследуемых физических объектов. <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	понятия, законы и модели, используемые для описания, изучения и оценки параметров и характеристик исследуемых физических объектов ; У-ПК-1.1[1] - Уметь: применять основные законы физики оптики, лазеров и плазмы для описания и оценок параметров и характеристик исследуемых физических объектов ; В-ПК-1.1[1] - Владеть: методами получения и анализа экспериментальных данных на основе законов физики оптики, лазеров и плазмы, используемые для описания, изучения и оценки параметров и характеристик исследуемых физических объектов.
Эксплуатация современных приборов и установок и системы диагностики в области лазерной физики.	Приборы, установки и системы диагностики в области лазерной физики.	ПК-1.2 [1] - Способен эксплуатировать современные приборы и установки и системы диагностики в области лазерной физики. <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 29.002	З-ПК-1.2[1] - Знать: основные современные приборы и установки и диагностические системы, применяемые в лазерной физике; принципы действия современных приборов и установок и систем диагностики в области лазерной физики. ; У-ПК-1.2[1] - Уметь: эксплуатировать современные приборы и установки и системы диагностики в области лазерной физики; интерпретировать и

			оценивать результаты, полученные с помощью современных приборов, установок и систем диагностики в области лазерной физики. ; В-ПК-1.2[1] - Владеть: навыком получения, обработки и анализа экспериментальных результатов с помощью приборов, установок и систем диагностики в области лазерной физики.
--	--	--	---

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия (В17)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования чувства личной ответственности за достижение лидерства России в ведущих научно-технических секторах и фундаментальных исследованиях, обеспечивающих ее экономическое развитие и внешнюю безопасность, посредством контекстного обучения, обсуждения социальной и практической значимости результатов научных исследований и технологических разработок. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования социальной ответственности ученого за результаты исследований и их последствия, развития исследовательских качеств посредством выполнения учебно-исследовательских заданий, ориентированных на изучение и проверку научных фактов, критический анализ публикаций в профессиональной области, вовлечения в реальные

		междисциплинарные научно-исследовательские проекты.
--	--	---

5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практик. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>7 Семестр</i>						
1	Раздел 1	1-8	16/8/0		25	КИ-8	З-ПК-1.1, У-ПК-1.1, В-ПК-1.1, З-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2
2	Раздел 2	9-12	16/8/0		25	КИ-12	З-ПК-1.1, У-ПК-1.1, В-ПК-1.1, З-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		32/16/0		50		
	Контрольные мероприятия за 7 Семестр				50	Э	З-ПК-1.1, У-ПК-1.1, В-ПК-1.1, З-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2

* – 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:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	7 Семестр	32	16	0
1-8	Раздел 1	16	8	0
1	Введение Основные положения ЛТС. Историческая справка.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
2 - 3	Концепция термоядерного синтеза. Термоядерная проблема и реакции синтеза. Магнитное удержание. Инерциальное удержание.	Всего аудиторных часов		
		4	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
4 - 5	Критерии термоядерной реакции. Критерий Лоусона. Критерий для эффективности инерциального термоядерного синтеза. Эффекты истощения топлива. Сценарий формирования волны при термоядерном горении.	Всего аудиторных часов		
		4	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	Качественный анализ параметров драйверов. Качественный анализ требуемых параметров драйверов в инерциальном синтезе. Коэффициент усиления энергии в мишени. КПД драйвера.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
7 - 8	Принципиальная схема ЛТС. Давление, создаваемое абляцией. Влияние геометрии куммуляции. Прямое сжатие. Непрямое сжатие.	Всего аудиторных часов		
		4	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-12	Раздел 2	16	8	0
9 - 11	Взаимодействие лазерных пучков с мишенями. Сжатие мишени. Тепловая энергия топлива. Сложность получения однородного облучения. Надтепловые электроны. Изозэнтропическое сжатие. Конструктивные особенности лазерных мишеней. Неустойчивость Рэлея-Тейлора. Затухание Ландау. Неустойчивость Рихтмайера-Мешкова. Неустойчивость Кельвина-Гельмгольца.	Всего аудиторных часов		
		8	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
12	Современное состояние проблемы. Зажигание сфокусированной ударной волной. Быстрое зажигание. Оптическое сглаживание.	Всего аудиторных часов		
		8	4	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

ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>7 Семестр</i>
1	История термоядерного синтеза. Основные законы. Основные положения ЛТС.
2	Оптимальные условия для проведения ЛТС. Температура и давление при воздействии лазерным излучением на плоскую мишень.
3	Устройство схемы для прямого облучения мишени. Схема лазерной мишени прямого облучения.
4	Необходимые виды топлива для проведения реакции термоядерного синтеза. Физика реакций синтеза.
5	Критерий Лоусона и другие критерии для эффективности инерциального термоядерного синтеза. Эффекты истощения топлива.
6	Необходимые параметры лазеров для проведения реакции. Качественный анализ параметров лазеров в инерциальном синтезе.
7	Схема ЛТС. Влияние геометрии куммуляции.
8	Необходимые условия для усиления энергии в мишени. КПД драйвера.
9	Физика механизма сжатия мишени в ЛТС. Тепловая энергия топлива.
10 - 11	Процессы самонагрева и распространение горения вещества. Процессы самонагрева. Распространение горения. Качественная картина.
12	Виды неустойчивостей в ЛТС. Непрямое облучение. Электронные и ионные ускорители.

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации программы дисциплины предусматривается использование в учебном процессе различных образовательных технологий с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов. Аудиторные занятия предполагают применение на лекциях технических средств обучения (проектора-оверхеда, ПК и компьютерного проектора).

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-1.1	З-ПК-1.1	Э, КИ-8, КИ-12
	У-ПК-1.1	Э, КИ-8, КИ-12
	В-ПК-1.1	Э, КИ-8, КИ-12
ПК-1.2	З-ПК-1.2	Э, КИ-8, КИ-12
	У-ПК-1.2	Э, КИ-8, КИ-12

	В-ПК-1.2	Э, 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-х балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – <i>«отлично»</i>	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 – <i>«хорошо»</i>	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – <i>«удовлетворительно»</i>	E	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			
Ниже 60	2 – <i>«неудовлетворительно»</i>	F	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 C51 Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion : , Chen, Francis. , Cham: Springer International Publishing, 2016

2. ЭИ В61 Лазерные методы диагностики плазмы : учебное пособие для вузов, Кузнецов А.П., Вовченко Е.Д., Савёлов А.С., Москва: МИФИ, 2008
3. ЭИ Б 82 Лазеры: применения и приложения : , Ивакин С. В. [и др.], Санкт-Петербург: Лань, 2022
4. ЭИ Ф 80 Физика высоких плотностей энергии : учебное пособие, Фортов В. Е., Москва: Физматлит, 2013

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 535 Л17 Лазерная плазма : физика и применения: монография, Крохин О.Н. [и др.], М.: МИФИ, 2003
2. 621.37 К43 Лазеры и их применения в ядерных технологиях : учебное пособие для вузов, Шнырев С.Л., Киреев С.В., Москва: МИФИ, 2008

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

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

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

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Студентам перед началом занятий надо учесть, что курс является авторским и полноценного учебника по нему не существует. Поэтому следует аккуратно посещать лекции, перед очередной лекцией прорабатывать предыдущий материал и не стесняться задавать вопросы преподавателю. Следует учесть, что изучаемый курс опирается на многие вопросы, изучаемые в курсах: «Атомная физика», «Физика лазеров» и «Физика лазерной плазмы». Можно обращаться к соответствующим разделам этих курсов, конспектам и рекомендованной для них литературе.

На лекции основное внимание следует уделять не формулам и математическим выкладкам, а содержанию изучаемых вопросов, определениям и постановкам задач. Перед началом занятий внимательно ознакомиться с учебным планом проведения лекций и списком рекомендованной литературы. В процессе изучения лекционного курса необходимо по возможности часто возвращаться к основным понятиям и методам. Желательно использовать конспекты лекций, в которых используется принятая преподавателем система обозначений. Следует работать с рекомендованными литературными источниками.

Изучение теоретических вопросов следует проводить по возможности самостоятельно, но при затруднениях обращаться к преподавателю. При выполнении фронтальных заданий по усмотрению преподавателя работа может быть оценена без письменного отчета на основе ответов на контрольные вопросы, при условии активной самостоятельной работы.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

На первой лекции сделать общий обзор содержания курса. Дать перечень рекомендованной литературы и вновь появившихся литературных источников. Провести входной контроль знаний в форме устной беседы или опроса. Перед изложением текущего лекционного материала напомнить об основных итогах, достигнутых на предыдущих лекциях. С этой целью задать несколько вопросов аудитории и осуществить выборочный контроль знания студентов. Внимательно относиться к вопросам студентов и при необходимости давать дополнительные более подробные пояснения. При чтении лекций преимущественное внимание следует уделять качественным вопросам, формируя у студентов образное мышление, не следует увлекаться математическими выкладками. Активная форма проведения лекционных занятий предполагает, в частности, что студенты самостоятельно прорабатывают отдельные разделы лекционного курса, на основе которых выполняется ряд заданий. На последней лекции делается обзор наиболее важных положений.

При рассмотрении вопросов взаимодействия излучения с мишенями рекомендуется особое внимание уделить качественному объяснению неустойчивостей и вопросам взаимодействия продуктов образования лазерной плазмы с веществом.

Автор(ы):

Вовченко Евгений Дмитриевич, к.ф.-м.н.