

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

РЕНТГЕНОВСКИЕ И КОРПУСКУЛЯРНЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ПЛАЗМЫ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 16.04.02 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
2	3	108	15	30	0		27	0	Э
Итого	3	108	15	30	0	0	27	0	

АННОТАЦИЯ

Курс знакомит с методами исследования плазмы, применяющихся в области решения термоядерной проблемы, а также и при разработке лазерных и плазменных установок.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины:

- Научить студентов понимать физику явлений, заложенных при разработке и применению современных методов исследования плазмы, физических основ работы приборов, применяемых для диагностики лазерной плазмы;
- Облегчить изучение специальной литературы, дать необходимые сведения для исследовательской работы.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Курс является одним из специальных курсов, предназначенным для знакомства студентов с методами диагностики лазерной плазмы. Для его успешного освоения студенты должны предварительно ознакомиться с основами следующих дисциплин -курс общей физики, включающий основы термодинамики, оптику, электричество и магнетизм и др.; основы статистической физики, математический анализ, дифференциальные уравнения, основы квантовой механики.

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
научно-исследовательский			
Проведение научных исследований в области диагностики лазерной плазмы, лазерного термоядерного синтеза, лазерной	Научные задачи, плазма, лазеры.	ПК-1.1 [1] - Способен к решению научных задач в области диагностики лазерной плазмы, лазерного термоядерного синтеза, лазерной	З-ПК-1.1[1] - Знать: основы диагностики лазерной плазмы, термоядерного синтеза, лазерной физики; У-ПК-1.1[1] - Уметь: решать научные задачи

физики и применения мощных лазеров.		физики и применения мощных лазеров <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	в области диагностики лазерной плазмы, термоядерного синтеза, лазерной физики и применения лазеров; В-ПК-1.1[1] - Владеть: навыком решения научных задач в области диагностики лазерной плазмы, термоядерного синтеза, лазерной физики и применения лазеров
Проведение научных исследований и опытно-конструкторских разработок в области диагностики плазмы, лазерного термоядерного синтеза и лазерной физики.	Научные исследования и опытно-конструкторские разработки, лазеры.	ПК-1.2 [1] - Способен использовать знания в области мощных лазеров, физики лазерного термоядерного синтеза и оптики в своей практической деятельности. <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-1.2[1] - Знать: физику лазерного термоядерного синтеза, лазерную физику, физику и применение мощных лазеров, оптику; У-ПК-1.2[1] - Уметь: использовать знания в области оптики, мощных лазеров и физики лазерного термоядерного синтеза в практической деятельности ; В-ПК-1.2[1] - Владеть: навыками использования знаний в области оптики, мощных лазеров и физики лазерного термоядерного синтеза в практической деятельности
Обработка и обобщение результатов исследований математическими методами	Результаты исследований, математические методы обработки экспериментальных данных	ПК-2 [1] - Способен использовать математические методы обработки результатов исследований и их обобщения <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 25.033	З-ПК-2[1] - Знать основные законы высшей математики, необходимые для математической обработки результатов исследований; основные законы теоретической физики, необходимые для обобщения и интерпретации результатов исследований; ; У-ПК-2[1] - Уметь:

			<p>применять законы высшей математики и физики к обобщению и интерпретации исследований;</p> <p>проводить критический анализ результатов;;</p> <p>В-ПК-2[1] - Владеть: методами создания и анализа математических моделей; методами обработки экспериментальных данных</p>
<p>Анализ научно-технической информации, постановка научной проблемы, обработка и обобщение полученных результатов</p>	<p>Научно-техническая информация по тематике исследований, результаты исследования</p>	<p>ПК-3 [1] - Способен анализировать научно-техническую информацию, научные проблемы, результаты, перспективы по тематике проводимых исследований и разработок</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078</p>	<p>З-ПК-3[1] - Знать специфику и современное состояние развития исследований и разработок; методы поиска, анализа научно-технической информации для выявления естественнонаучной сущности проблемы, формулирования задачи, определения пути их решения ;</p> <p>У-ПК-3[1] - Уметь: проводить поиск, анализ научно-технической информации для выявления естественнонаучной сущности проблемы, формулирования задачи по тематике проводимых исследований и разработок; обобщать и критически анализировать полученную информацию;</p> <p>проводить критический анализ своих результатов и результатов других исследователей;</p> <p>В-ПК-3[1] - владеть</p>

			<p>навыками поиска и анализа научно-технической информации, выявления естественнонаучной сущности проблемы, формулирования задачи по тематике проводимых исследований и разработок, обобщения и критического анализа информации.</p>
организационно-управленческий			
Разработка методики исследования, планирование проведения эксперимента.	Методики, средства и планы исследований	<p>ПК-6 [1] - Способен разрабатывать методики исследований, проводить испытания, планировать эксперимент</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>3-ПК-6[1] - Знать методологию организации проведения научного исследования; принципы разработки элементов экспериментальных установок и установок в целом; ; У-ПК-6[1] - Уметь формулировать цель и задачу исследования, разработки; организовать научное исследование и работу; составить план работ с учетом временных и материальных затрат; ; В-ПК-6[1] - Владеть навыками организации проведения научного исследования и разработок; методами и навыками экспериментальных исследований.</p>
научно-инновационный			
Проектирование и внедрение новых продуктов и систем в реальной инженерной практике	Продукты и системы в реальной инженерной практике	ПК-7 [1] - Способен проектировать, создавать и внедрять новые продукты и системы и применять теоретические знания в реальной инженерной практике	3-ПК-7[1] - Знать физические основы работы приборов и установок; методы проведения физических исследований с использованием высокотехнологических установок; ;

		<p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>У-ПК-7[1] - Уметь: применять законы физики и высшей математики для обработки и анализа полученных экспериментальных данных; продумать алгоритм решения инженерной задачи; спроектировать блок-схему лабораторной установки для реализации заданной инженерной задачи;; В-ПК-7[1] - Владеть: методами проведения инженерных расчетов; приемами и навыками работы с современными программными пакетами для инженерной деятельности;</p>
--	--	--	--

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>2 Семестр</i>						
1	Раздел 1	1-8	8/16/0		25	КИ-8	3-ПК-1.1, У-ПК-1.1, В-ПК-1.1, 3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6,

							3-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7
2	Раздел 2	9-15	7/14/0		25	КИ-15	3-ПК-1.1, У-ПК-1.1, В-ПК-1.1, 3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6, 3-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7
	<i>Итого за 2 Семестр</i>		15/30/0		50		
	Контрольные мероприятия за 2 Семестр				50	Э	3-ПК-1.1, У-ПК-1.1, В-ПК-1.1, 3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-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:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>2 Семестр</i>	15	30	0
1-8	Раздел 1	8	16	0
1 - 2	Атомная и релятивистская интенсивность. Лазерный контраст. Атомная и релятивистская лазерная интенсивность, Швингеровский предел. Безразмерная лазерная амплитуда а. Лазерный контраст и способы его улучшения.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 4	Критическая плотность. Многофотонная ионизация. Критическая плотность плазмы, ее зависимость от угла падения. Качественное объяснение туннельной и многофотонной ионизации. Параметр Келдыша.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
5 - 6	Образование плазмы. Взаимодействие излучения лазера с плазмой. Принципиальная разница длинных и коротких лазерных импульсов в плане взаимодействия с плазмой . Качественное описание механизма обратнотормозного поглощения и скин эффекта. Столкновительные механизмы поглощения, резонансное поглощение.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
7 - 8	Возбуждение волн в плазме. Механизмы возбуждения плазменных волн в плазме: вынужденное рассеяние Мандельштамма-Бриллюэна, вынужденное комбинационн (рамановское) рассеяние, двухплазмонный распад. Качественное описание основных механизмов ускорения ионов.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-15	Раздел 2	7	14	0
9 - 10	Тормозное излучение в лазерной плазме. Качественное описание механизма тормозного излучения в лазерной плазме. Использование тормозного излучения для диагностики плазменных параметров. Фактор (множитель) Гаунта, угловое распределение тормозного излучения, фоторекомбинация.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
11 - 12	Томпсоновское и комптоновское рассеяние. Генерация гармоник. Механизмы Томпсоновского и комптоновского рассеяния. Обратное комптоновское рассеяние. Генерация высоких гармоник (ГВГ) в плазме, основные механизмы их генерации: модель осциллирующего зеркала, ГВГ при резонансном поглощении и трехступенчатом распаде. Практическое применение ГВГ.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 14	Спектры одноэлектронных и многоэлектронных атомов. Систематика спектров одноэлектронных атомов, изоэлектронная последовательность, полный момент электрона, мультиплет, тонкое расщепление уровней, электронная конфигурация атома, спектральный терм, мультипольное разложение и правила отбора. Систематика спектров многоэлектронных атомов, приближение центрального поля, особенности	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
		0	0	0

	приближения LS связи и jj связи, правила сложения моментов, правила отбора для LS и jj термов.			
15	Модели плазмы. Основные свойства равновесной модели плазмы, ЛТР и ЧЛТР. Закон Кирхгофа и метод пирометрии. Основные свойства коронального приближения столкновительно-радиационной модели.	Всего аудиторных часов		
		1	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

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

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.

6. 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	З-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-3	З-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-3	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-6	З-ПК-6	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-6	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-6	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-7	З-ПК-7	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-7	Э, КИ-8, КИ-15

	В-ПК-7	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-1.1	З-ПК-1.1	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-1.1	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-1.1	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-1.2	З-ПК-1.2	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-1.2	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-1.2	Э, КИ-8, КИ-15

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	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	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.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ К92 Introduction to Plasma Spectroscopy : , Kunze, Hans-Joachim. , Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg,, 2009
2. 53 П26 Методы исследований в экспериментальной физике : учебное пособие для вузов, Пергамент М.И., Долгопрудный: Интеллект, 2010
3. 533 О-75 Основы физического эксперимента в физике плазмы : лабораторный практикум, Урусов В.А. [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2014
4. ЭИ К60 Спектроскопическая диагностика плазмы : учебное пособие для вузов, Колесников В.Н., Москва: МИФИ, 2007

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 539.1 С54 Введение в теорию атомных спектров : , Собельман И.И., М.: Наука, 1977

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

1. Microsoft office (33-103)

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

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

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

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

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Высокоскоростной оптоволоконный спектрометр Avantes-3648 USB2-RM(Avates) №101103601 (33-201)

9. 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» и «Квантовая радиофизика». Можно обращаться к соответствующим разделам этих курсов, конспектам и рекомендованной для них литературе. Считается, что студент, успешно сдавший вступительные испытания в магистратуру, знаком с материалом данных курсов.

На лекции основное внимание следует уделять не только формулам и математическим выкладкам, но и 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.

Поскольку курс посвящен физическим основам законов и явлений, на которых базируется современная диагностика лазерной плазмы.

Изучение теоретических вопросов следует проводить по возможности самостоятельно, но при затруднениях обращаться к преподавателю.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Учебным планом на изучение дисциплины отводится один семестр. Для контроля усвоения студентами разделов данного курса проводятся опросы по лекционным темам и выполнение определенных заданий.

Обязательной является самостоятельная работа студентов, которая подразумевает проработку лекционного материала с использованием рекомендуемой литературы, а также решение заданий для самостоятельной работы.

На практических занятиях студенты рассчитывают реальные физические явления. При обсуждении тем лекционных занятий используются современные научные работы. Обязательным является самостоятельная работа студентов, выполнение индивидуальных заданий, работа с литературой.

При преподавании дисциплины методически целесообразно в каждом разделе выделять наиболее важные моменты и акцентировать на них внимание обучающихся. Предлагается:

В первом разделе дать физическую картину образования плазмы при воздействии лазерных импульсов на вещество, описать механизмы возбуждения плазменных волн в плазме: вынужденное рассеяние Мандельштам-Бриллюэна, вынужденное комбинационное (рамановское) рассеяние, двухплазменный распад, дать качественное описание основных механизмов ускорения ионов.

Особое внимание во втором разделе следует уделить таким вопросам, как

Что такое кинетическая матрица? Что описывают коэффициенты Эйнштейна A_{ik} и B_{ik} ? Что такое сила осциллятора f_{ik} ? Как учет оптической толщины влияет на форму линии? Как учет самопоглощения в плазме влияет на интенсивность излучения (собственного и проходящего сквозь плазму)? Почему для диагностики плазмы обычно используют отношения линий друг к другу, а не их абсолютные значения? Что такое диэлектронные сателлиты? Чем они удобны для диагностики плазмы? Что такое полые ионы, каких они могут быть типов? Где расположены их спектральные линии? Какие механизмы приводят к возбуждению состояний полых ионов, какие из них наиболее эффективны?

Автор(ы):

Пикуз Сергей Алексеевич

Рецензент(ы):

д.ф.-м.н., нач. лаборатории ИНХС РАН, Лебедев
Ю.А.