

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

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
природоподобных, плазменных и
ядерных технологий им. И.В.
Курчатова**

Т.Е. Григорьев

Рабочая программа дисциплины (модуля)

по дисциплине:	Излучение термоядерной плазмы
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Термоядерные и плазменные технологии Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова кафедра физики и химии плазмы
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

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

Программа обсуждена на заседании кафедры физики и химии плазмы 31.03.2025

Аннотация

Курс "Излучение термоядерной плазмы" предусматривает ознакомление студентов с основными понятиями о роли излучения в энергобалансе и диагностике термоядерной плазмы.

Задачи курса:

- обучение основам оценочных и расчетных методов для процессов, ответственных за излучение плазмы.

По результатам освоения курса студент должен:

Знать:

- основы классической механики, электродинамики, квантовой и атомной механики.

Уметь:

- оперировать с основными формулами классической механики и электродинамики, использовать персональный компьютер для составления простейших расчетных программ.

Владеть:

- способами численных оценок, необходимых для использования вероятностей различных физических процессов применительно к условиям термоядерных установок, в первую очередь – токамаков.

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Радиационные процессы в непрерывном спектре – тормозное и рекомбинационное излучение
2. Процессы в дискретном спектре – ионизация атомов и ионов
3. Диэлектронная рекомбинация
4. Расчеты ионизационного равновесия и радиационных потерь плазмы на примесных ионах

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- ознакомление студентов с основными понятиями о роли излучения в энергобалансе и диагностике термоядерной плазмы.

Задачи дисциплины

- обучение основам оценочных и расчетных методов для процессов, ответственных за излучение плазмы.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
	УК-2.2 Способен прогнозировать результат деятельности и планировать последовательность шагов для достижения данного результата. Формирует план-график реализации проекта в целом и план контроля его выполнения
	УК-2.3 Способен организовать и координировать работу участников проекта, обеспечивать работу команды необходимыми ресурсами

	УК-2.4 Представляет публично результаты проекта (или отдельных его этапов) в форме отчетов, статей, выступлений на научно-практических конференциях, семинарах и т.п.
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива
	ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основы классической механики, электродинамики, квантовой и атомной механики.

уметь:

- оперировать с основными формулами классической механики и электродинамики, использовать персональный компьютер для составления простейших расчетных программ.

владеть:

- владеть способами численных оценок, необходимых для использования вероятностей различных физических процессов применительно к условиям термоядерных установок, в первую очередь – токамаков.

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. работа
1	Радиационные процессы в непрерывном спектре – тормозное и рекомбинационное излучение	8			4
2	Процессы в дискретном спектре – ионизация атомов и ионов	6			4
3	Дизэлектронная рекомбинация	8			3
4	Расчеты ионизационного равновесия и радиационных потерь плазмы на примесных ионах	8			4
Итого часов		30			15

Подготовка к экзамену	0 час.
Общая трудоёмкость	45 час., 1 зач.ед.

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

Семестр: 2 (Весенний)

1. Радиационные процессы в непрерывном спектре – тормозное и рекомбинационное излучение

Классические методы расчета интенсивностей тормозного и рекомбинационного излучения, формулы Крамерса, потери энергии на излучение в континууме, радиационная рекомбинация.

2. Процессы в дискретном спектре – ионизация атомов и ионов

Формула Томсона для ионизации, особенности ионизации многозарядных ионов, ионизация через возбуждение автоионизационных состояний.

3. Диелектронная рекомбинация

Процессы, проходящие через образование атомных комплексов, диелектронная рекомбинация электронов на ионах с электронным остовом, основные каналы распада автоионизационных состояний, сравнение с трехчастичной и радиационной рекомбинацией.

4. Расчеты ионизационного равновесия и радиационных потерь плазмы на примесных ионах

Ионизационное равновесие примесных ионов в термоядерной плазме как баланс процессов ионизации-рекомбинации, роль транспорта примесных ионов, расчеты кинетики заселения и радиационных потерь в простейшей двухуровневой схеме атомных состояний.

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

учебная аудитория, оснащенная ученической доской, видеопроектором и экраном.

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

Фонд литературы кафедры

1. Л. Д. Ландау. Теоретическая физика: в 10 т. Т. 2. Теория поля. - 7-е изд. исправ. - М.: Наука, 1988
2. Г. Голдстейн. Классическая механика / (перевод с англ. Ю.В. Колесниченко). - М.: Ижевск, Ижевский институт компьютерных исследований, 2012.

Дополнительная литература

1. В. А. Астапенко, В. С. Лисица Столкновительные процессы в низкотемпературной плазме - М.: МФТИ, 2007

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

1. http://www.maik.ru/contents/plasphys/plasphys_1_5v31cont.htm
2. http://mipt.ru/study/net_libr/.

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

не предусмотрены.

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

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Термоядерные и плазменные технологии Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова кафедра физики и химии плазмы
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет	
Разработчик:	В.С. Лисица, д-р физ.-мат. наук, профессор

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
	УК-2.2 Способен прогнозировать результат деятельности и планировать последовательность шагов для достижения данного результата. Формирует план-график реализации проекта в целом и план контроля его выполнения
	УК-2.3 Способен организовать и координировать работу участников проекта, обеспечивать работу команды необходимыми ресурсами
	УК-2.4 Представляет публично результаты проекта (или отдельных его этапов) в форме отчетов, статей, выступлений на научно-практических конференциях, семинарах и т.п.
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива
	ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Излучение термоядерной плазмы» обучающийся должен:

знать:

- основы классической механики, электродинамики, квантовой и атомной механики.

уметь:

- оперировать с основными формулами классической механики и электродинамики, использовать персональный компьютер для составления простейших расчетных программ.

владеть:

- владеть способами численных оценок, необходимых для использования вероятностей различных физических процессов применительно к условиям термоядерных установок, в первую очередь – токамаков.

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 по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

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

Вопросы к дифференцированному зачету:

1. Распределение радиационных потерь по длинам волн в приближении Крамерса
2. Оценка радиационных потерь энергии на тормозное излучение в термоядерной плазме
3. Оценка скорости радиационной рекомбинации
4. Вычисление скоростных коэффициентов ионизации для атомов и ионов
5. Оценка увеличения коэффициента ионизации на возбуждение автоионизационных уровней в сложных ионах
6. Оценка каналов автоионизационного распада и радиационной стабилизации для дважды возбужденных уровней многозарядных ионов
7. Сравнение скоростей диэлектронной и фото-рекомбинации сложных примесных ионов
8. Расчет кинетической модели заселения состояний в двухуровневой системе – корональный и больцмановский предел для заселенностей
9. Радиационные потери в двухуровневой системе в корональном и больцмановском пределах
10. Оценка скорости радиационной рекомбинации

Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему 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 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

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

Оценка за дифференцированный зачет выставляется по результатам письменной контрольной работы (теста) и устной беседы по вопросам контрольной работы.