

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
электроники, фотоники и  
молекулярной физики**

**В.В. Иванов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Теория радиационных процессов
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физической и химической механики
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: С.Т. Суржиков, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры физической и химической механики 29.05.2020

## Аннотация

Курс "Теория радиационных процессов" предусматривает изучение физических основ теории переноса теплового излучения, основанных на подходах квазиклассической и квантовой теории.

Задачи курса:

- освоение студентами базовых знаний в области теории переноса теплового излучения;
- приобретение теоретических знаний в области теории переноса селективного теплового излучения;
- изучение способов получения уравнения переноса теплового излучения и методах его решения;
- оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований в области переноса теплового излучения;
- освоение студентами базовых знаний для дальнейшего изучения явлений физической механики (газовые разряды, физика ударных волн, релаксационные процессы в физико-химической механике, излучательные свойства газовых потоков).

По результатам освоения курса студент должен знать:

фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной физики;  
порядки численных величин, характерные для различных разделов физики;  
современные проблемы физики, химии, математики;  
методы физической механики, разработанные на базе квазиклассических и квантовых представлений;  
математический аппарат теории переноса теплового излучения.

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Вероятности квантовых переходов и правила отбора в дипольном приближении. Время жизни возбужденных состояний. Сила осциллятора. Коэффициенты Эйнштейн
2. Виды движения в молекулах и типы молекулярных спектров
3. Классификация методов решения уравнения переноса. Приближения предельных оптических толщин
4. Методы дискретных ординат и дискретных направлений
5. Методы интегрирования уравнения переноса по угловым переменным. Модель плоского слоя, Метод Шварцшильда-Шустера, диффузионное приближение, метод Эддингтона
6. Методы стохастического моделирования
7. Методы сферических гармоник. Граничные условия Марка и Маршака
8. Мощности испускания и поглощения. Заселенности квантовых уровней. Коэффициент поглощения. Неравновесные спектры испускания и их интенсивности. Контурные спектральных линий. Уширение спектральных линий
9. Основные характеристики теории переноса теплового излучения. Спектральная интенсивность излучения и моменты спектральной интенсивности. Феноменологическое определение коэффициентов поглощения, испускания и рассеяния. Связь с коэффициентами Эйнштейна
10. Проблемы и методы интегрирования уравнения переноса излучения по спектру
11. Спектры электромагнитного излучения. Классификация уровней энергии атомов и молекул, и радиационных переходов в газах и плазме
12. Уравнение переноса селективного теплового излучения
13. Фундаментальные законы теплового излучения. Законы Планка, Кирхгофа, Ламберта, Бугера. Принцип детального равновесия. Приближение локального термодинамического равновесия

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- изучение физических основ теории переноса теплового излучения, основанных на подходах квазиклассической и квантовой теории.

### Задачи дисциплины

- освоение студентами базовых знаний в области теории переноса теплового излучения;
- приобретение теоретических знаний в области теории переноса селективного теплового излучения;
- изучение способов получения уравнения переноса теплового излучения и методах его решения;
- оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований в области переноса теплового излучения;
- освоение студентами базовых знаний для дальнейшего изучения явлений физической механики (газовые разряды, физика ударных волн, релаксационные процессы в физико-химической механике, излучательные свойства газовых потоков).

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
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

## 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной физики;
- порядки численных величин, характерные для различных разделов физики;
- современные проблемы физики, химии, математики;
- методы физической механики, разработанные на базе квазиклассических и квантовых представлений;
- математический аппарат теории переноса теплового излучения.

уметь:

- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- производить численные оценки по порядку величины;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и методы компьютерной физики;
- получать наилучшие значения измеряемых величин и правильно оценить степень их достоверности;
- работать на современных компьютерах и суперкомпьютерах;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

владеть:

навыками освоения большого объема информации;  
 культурой постановки и моделирования физических задач;  
 навыками грамотной обработки результатов численного моделирования и сопоставления с теоретическими данными;  
 практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач.

#### 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	Вероятности квантовых переходов и правила отбора в дипольном приближении. Время жизни возбужденных состояний. Сила осциллятора. Коэффициенты Эйнштейн.		2		2
2	Виды движения в молекулах и типы молекулярных спектров.		2		2
3	Классификация методов решения уравнения переноса.		2		2
4	Методы дискретных ординат и дискретных направлений		2		3
5	Методы интегрирования уравнения переноса по угловым переменным.		2		2
6	Методы стохастического моделирования		4		2
7	Методы сферических гармоник.		2		2
8	Мощности испускания и поглощения. Заселенности квантовых уровней. Коэффициент поглощения. Неравновесные спектры испускания и их интенсивности. Контурные спектральных линий. Уширение спектральных линий.		2		3
9	Основные характеристики теории переноса теплового излучения.		2		2
10	Уравнения переноса излучения по спектру		4		2
11	Спектры электромагнитного излучения.		2		2
12	Уравнение переноса селективного теплового излучения		2		3
13	Фундаментальные законы теплового излучения. Законы Планка, Кирхгофа, Ламберта, Бугера. Принцип детального равновесия. Приближение локального термодинамического равновесия.		2		3
Итого часов			30		30
Подготовка к экзамену		30 час.			

Общая трудоёмкость	90 час., 2 зач.ед.
--------------------	--------------------

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

Семестр: 2 (Весенний)

1. Вероятности квантовых переходов и правила отбора в дипольном приближении. Время жизни возбужденных состояний. Сила осциллятора. Коэффициенты Эйнштейн.

Введение понятий вероятностей квантовых переходов. Формулировка правил отбора в дипольном приближении. Определение понятия времени жизни возбужденных состояний. Вывод формулы для силы осциллятора.

Введение коэффициентов Эйнштейна. Получение формулы для естественной ширины уровней энергии и спектральных линий.

2. Виды движения в молекулах и типы молекулярных спектров.

Связь квазиклассических и квантовых представлений при описании видов движения в молекулах. Классификация типов молекулярных спектров.

3. Классификация методов решения уравнения переноса.

Классификация методов решения уравнения переноса. Приближения предельных оптических толщин.

4. Методы дискретных ординат и дискретных направлений

Методы дискретных ординат и дискретных направлений. Основные пути выбора и расчета.

5. Методы интегрирования уравнения переноса по угловым переменным.

Простейшие методы. Модель плоского слоя, Метод Шварцшильда-Шустера, диффузионное приближение, метод Эддингтона.

6. Методы стохастического моделирования

Методы стохастического моделирования. Основные примеры.

7. Методы сферических гармоник.

Методы сферических гармоник. Граничные условия Марка и Маршака.

8. Мощности испускания и поглощения. Заселенности квантовых уровней. Коэффициент поглощения. Неравновесные спектры испускания и их интенсивности. Контурные спектральных линий. Уширение спектральных линий.

Получение соотношений для мощности испускания и поглощения.

Формулировка кинетических уравнений для заселенности квантовых уровней.

Получение обобщенной формулы для коэффициента поглощения.

Введение понятий неравновесных спектров испускания и их интенсивности. Классификация контуров спектральных линий. Разные типы уширения спектральных линий.

9. Основные характеристики теории переноса теплового излучения.

Определение понятия спектральной интенсивности излучения. Физический смысл моментов спектральной интенсивности. Феноменологическое определение коэффициентов поглощения, испускания и рассеяния. Определение коэффициентов Эйнштейна. Связь коэффициентов поглощения и испускания с коэффициентами Эйнштейна.

#### 10. Уравнения переноса излучения по спектру

Проблемы и методы интегрирования уравнения переноса излучения по спектру.

#### 11. Спектры электромагнитного излучения.

Классификация спектров электромагнитного излучения. Классификация уровней энергии атомов и молекул, Классификация радиационных переходов в газах и плазме.

#### 12. Уравнение переноса селективного теплового излучения

Уравнение переноса селективного теплового излучения. Вывод и применение. Примеры.

13. Фундаментальные законы теплового излучения. Законы Планка, Кирхгофа, Ламберта, Бугера. Принцип детального равновесия. Приближение локального термодинамического равновесия.

Формулировка законов Планка, Кирхгофа, Ламберта, Бугера. Определение принципа детального равновесия. Приближение локального термодинамического равновесия.

Вывод уравнения переноса селективного теплового излучения.

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

учебная аудитория, компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система).

### **6.Перечень рекомендуемой литературы**

Основная литература

1. Суржиков С.Т. Тепловое излучение газов и плазмы. М.: ИПмех - МГТУ. 2004. 545 с.

Дополнительная литература

1. Ельяшевич М.А. Общие вопросы спектроскопии. М.: КомКнига, 2006, 240 с.
2. Ельяшевич М.А. Молекулярная спектроскопия. М.: КомКнига, 2006, 528 с.

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

<http://www.ipmnet.ru>.

### **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.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физической и химической механики
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен	
<b>Разработчик:</b>	С.Т. Суржиков, д-р физ.-мат. наук, профессор



## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
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

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Теория радиационных процессов» обучающийся должен:

### знать:

фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной физики;  
порядки численных величин, характерные для различных разделов физики;  
современные проблемы физики, химии, математики;  
методы физической механики, разработанные на базе квазиклассических и квантовых представлений;  
математический аппарат теории переноса теплового излучения.

### уметь:

абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;  
пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;  
делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;  
производить численные оценки по порядку величины;  
делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;  
осваивать новые предметные области, теоретические подходы и методы компьютерной физики;  
получать наилучшие значения измеряемых величин и правильно оценить степень их достоверности;  
работать на современных компьютерах и суперкомпьютерах;  
эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

### владеть:

навыками освоения большого объема информации;  
культурой постановки и моделирования физических задач;  
навыками грамотной обработки результатов численного моделирования и сопоставления с теоретическими данными;  
практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач.

## 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.

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

Вопросы к экзамену:

1. Спектры электромагнитного излучения.
2. Классификация уровней энергии атомов и молекул.
3. Классификация радиационных переходов в газах и плазме.
4. Вероятности квантовых переходов.
5. Правила отбора в дипольном приближении.
6. Время жизни возбужденных состояний.
7. Сила осциллятора.
8. Коэффициенты Эйнштейна.
9. Естественная ширина уровней энергии и спектральных линий.
10. Мощности испускания и поглощения.
11. Заселенности квантовых уровней.
12. Коэффициент поглощения.
13. Неравновесные спектры испускания и их интенсивности.
14. Контурные спектральных линий.
15. Уширение спектральных линий.
16. Виды движения в молекулах и типы молекулярных спектров.
17. Основные характеристики теории переноса теплового излучения.
18. Спектральная интенсивность излучения.
19. Моменты спектральной интенсивности.
20. Феноменологическое определение коэффициентов поглощения, испускания и рассеяния.
21. Связь коэффициентов поглощения с коэффициентами Эйнштейна.
22. Фундаментальные законы теплового излучения.
23. Закон Планка.
24. Закон Кирхгофа.
25. Закон Ламберта.
26. Закон Бугера.
27. Принцип детального равновесия.
28. Приближение локального термодинамического равновесия.
29. Уравнение переноса селективного теплового излучения.
30. Классификация методов решения уравнения переноса.
31. Приближения предельных оптических толщин.
32. Методы интегрирования уравнения переноса по угловым переменным. Модель плоского слоя.
33. Методы интегрирования уравнения переноса по угловым переменным. Метод Шварцшильда-Шустера.
34. Методы интегрирования уравнения переноса по угловым переменным. Диффузионное приближение.
35. Методы интегрирования уравнения переноса по угловым переменным. Метод Эддингтона.
36. Методы сферических гармоник.
37. Граничные условия Марка и Маршака.
38. Методы дискретных ординат.
39. Методы дискретных направлений.
40. Проблемы и методы интегрирования уравнения переноса излучения по спектру.
41. Проблемы интегрирования уравнения переноса излучения по спектру.
42. Методы интегрирования уравнения переноса излучения по спектру.
43. Методы стохастического моделирования.

Примеры экзаменационных билетов.

Пример 1.

1. Коэффициенты Эйнштейна.
2. Проблемы интегрирования уравнения переноса излучения по спектру.

Пример 2.

1. Мощности испускания и поглощения.
2. Методы интегрирования уравнения переноса излучения по спектру.

#### 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**

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать одного астрономического часа.