

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы физики  
и исследований им. Ландау  
А.В. Рогачев**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Фотохимия и спектроскопия планетных атмосфер
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра космической физики
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	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: 60 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: Д.А. Беляев, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры космической физики 01.04.2024

## Аннотация

Настоящий курс лекций – комбинация спектрометрического и фотохимического методов исследования химического состава атмосфер планет. Спектроскопия является основным инструментом для изучения атмосфер планет дистанционными методами: наземные астрономические наблюдения, орбитальные обсерватории, межпланетные станции. С другой стороны, фотохимия считается наиболее мощным методом теоретического анализа и интерпретации экспериментальных спектрометрических данных. Данный курс основан на актуальных данных, полученных из недавних космических экспериментов, а также на современных моделях планетных атмосфер, опубликованных ведущими мировыми учеными. Курс содержит 11 тем, охватывающих материал о фундаментальных знаниях относительно атмосферной химии и спектроскопии, а также об атмосферах различных планет и экзопланет по отдельности.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- формирование у студентов профессиональных компетенций, связанных с использованием современных теоретических и экспериментальных концепций в области спектроскопии и химии атмосферы;
- развитие умений, основанных на полученных знаниях, позволяющих на творческом уровне создавать и применять методы для исследования планетных атмосфер;
- получение студентами навыков самостоятельной исследовательской работы, предполагающей изучение специфических алгоритмов, инструментов и средств;
- получение практических навыков использования данных современных космических экспериментов для решения задач.

### Задачи дисциплины

- получение базовых знаний, необходимых студенту для проведения научных исследований в рамках своей магистерской работы.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений

ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
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-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основы физики и химии планетных атмосфер;
- основы атмосферной оптики и спектроскопии;
- основы молекулярной физики;
- основные типы оптических и спектрометрических инструментов для исследования атмосфер планет.

уметь:

- пользоваться знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач планетной физики;
- видеть в задачах физическое содержание;
- делать численные оценки по порядку величины;
- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций в планетной физике;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах.

владеть:

- работы с современной научной литературой под данному вопросу;
- культурой постановки и моделирования задач планетной физики;
- практикой исследования и решения задач физики планет;
- навыками теоретического анализа реальных задач в различных областях космического пространства.

### 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	Свойства планет и их атмосфер.	2			4
2	Барометрическая формула; шкала высот; критерий верхней границы атмосферы.	3			6

3	Уравнение теплового баланса в одномерном приближении.	3			6
4	Уравнение Шредингера. Квантовые числа для Н-подобных атомов. Оптические переходы в атомах; правила отбора.	3			6
5	Молекулярная спектроскопия.	3			6
6	Пропускание атмосферы при молекулярном поглощении света.	2			4
7	Контур спектральных линий молекулярного поглощения.	3			6
8	Спектроскопические методы измерения температуры атмосферы.	3			6
9	Спектроскопия и фотохимия атмосферы Венеры.	3			6
10	Спектроскопия и фотохимия атмосферы Марса.	3			6
11	Химия и спектроскопия атмосфер планет-гигантов, некоторых их спутников и Плутона. Поиски атмосфер у экзопланет.	2			4
Итого часов		30			60
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

##### Семестр: 2 (Весенний)

##### 1. Свойства планет и их атмосфер.

Общие свойства планет и их атмосфер. Спутники планет, обладающие атмосферой. Типы планетных атмосфер по химическому составу. Связь с происхождением планет.

##### 2. Барометрическая формула; шкала высот; критерий верхней границы атмосферы.

Вывод и значение барометрической формулы; понятие шкалы высот; критерий верхней границы атмосферы. Турбулентная и молекулярная диффузии. Потеря планетой атмосферного вещества (escape).

##### 3. Уравнение теплового баланса в одномерном приближении.

Уравнение теплового баланса для атмосферы в одномерном приближении. Его решение для термосферы.

##### 4. Уравнение Шредингера. Квантовые числа для Н-подобных атомов. Оптические переходы в атомах; правила отбора.

Молекулярная спектроскопия. Различные виды внутренней энергии молекул. Электронные, колебательные и вращательные переходы. Примеры спектров.

##### 5. Молекулярная спектроскопия.

Пропускание атмосферы при молекулярном поглощении света. Интенсивность линии. Коэффициенты Эйнштейна. Поглощение молекулы в выделенной линии. Эквивалентная ширина. Кривая роста.

6. Пропускание атмосферы при молекулярном поглощении света.

Пропускание атмосферы при молекулярном поглощении света. Интенсивность линии. Коэффициенты Эйнштейна. Поглощение молекулы в выделенной линии. Эквивалентная ширина. Кривая роста.

7. Контур спектральных линий молекулярного поглощения.

Контур спектральных линий молекулярного поглощения. Механизмы уширения линий. Спектроскопическая база HITRAN. Сечение поглощения.

8. Спектроскопические методы измерения температуры атмосферы.

Основы спектроскопических методов измерения температуры атмосферы в ИК и УФ диапазонах спектра. Методы и используемые инструменты.

9. Спектроскопия и фотохимия атмосферы Венеры.

Спектроскопия и фотохимия атмосферы Венеры. Общий спектр Венеры в УФ, видимом и ИК диапазонах. Спектральные окна прозрачности атмосферы. Ночное свечение. Исследования содержания H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub> и O<sub>3</sub>.

10. Спектроскопия и фотохимия атмосферы Марса.

Спектроскопия и фотохимия атмосферы Марса. Спектр Марса в диапазоне отраженного солнечного излучения и в тепловом диапазоне. Циклы углекислого газа и воды на Марсе. Озон и поиски метана на Марсе.

11. Химия и спектроскопия атмосфер планет-гигантов, некоторых их спутников и Плутона. Поиски атмосфер у экзопланет.

Химический состав и исследования спектроскопическими методами атмосфер планет-гигантов, некоторых их спутников (на примере Ио, Титана, Тритона) и Плутона, как представителя малых планет. Методы и возможности поиска атмосфер у экзопланет.

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

Учебная аудитория, доска, медиапроектор, экран.

## **6. Перечень рекомендуемой литературы**

### Основная литература

1. Теоретические основы атмосферной оптики [Текст] / Ю. М. Тимофеев, А. В. Васильев - СПб. Наука, 2003
- Y.L. Yung, W.B. DeMore. "Photochemistry of planetary atmospheres". Oxford University Press, USA. 1998.
- Sanchez-Lavega A. "An introduction to planetary atmospheres". CRC Press, USA. 2011.

### Дополнительная литература

Мороз В.И. «Методы планетной астрофизики». Глава 1.

Зуев В.Е., Макушкин Ю.С., Пономарев Ю.Н. «Современные проблемы атмосферной оптики». - Спектроскопия атмосферы (том 3) – 1987г.

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

<https://hitran.org/> (спектроскопическая база HITRAN)

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

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

## **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 и понятия, 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 преподавателю.

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

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

**по направлению:** Прикладные математика и физика  
**профиль подготовки:** Общая и прикладная физика  
Физтех-школа физики и исследований им. Ландау  
кафедра космической физики  
**курс:** 1  
**квалификация:** магистр

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

**Разработчик:** Д.А. Беляев, канд. физ.-мат. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
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-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Фотохимия и спектроскопия планетных атмосфер» обучающийся должен:

### знать:

- основы физики и химии планетных атмосфер;
- основы атмосферной оптики и спектроскопии;
- основы молекулярной физики;
- основные типы оптических и спектрометрических инструментов для исследования атмосфер планет.

### уметь:



- пользоваться знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач планетной физики;
- видеть в задачах физическое содержание;
- делать численные оценки по порядку величины;
- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций в планетной физике;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах.

**владеть:**

- работы с современной научной литературой под данному вопросу;
- культурой постановки и моделирования задач планетной физики;
- практикой исследования и решения задач физики планет;
- навыками теоретического анализа реальных задач в различных областях космического пространства.

### **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 или в конце занятия по пройденной теме.

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

Примеры контрольных заданий

1. Свойства планет и их атмосфер. Спутники планет, обладающие атмосферой. Типы планетных атмосфер по химическому составу. Связь с происхождением планет.
2. Барометрическая формула; шкала высот; критерий верхней границы атмосферы. Турбулентная и молекулярная диффузии. Потеря планетой атмосферного вещества (escape).
3. Уравнение теплового баланса в одномерном приближении. Его решение для термосферы.
4. Уравнение Шредингера. Квантовые числа для H-подобных атомов. Оптические переходы в атомах; правила отбора. Конфигурация многоэлектронных атомов; термы. Принцип Паули. Правила отбора при переходах и метастабильные состояния.
5. Молекулярная спектроскопия. Различные виды внутренней энергии молекул. Электронные, колебательные и вращательные переходы. Примеры спектров.
6. Пропускание атмосферы при молекулярном поглощении света. Интенсивность линии. Коэффициенты Эйнштейна. Поглощение молекулы в выделенной линии. Эквивалентная ширина. Кривая роста.
7. Контур спектральных линий молекулярного поглощения. Механизмы уширения линий. Спектроскопическая база HITRAN. Сечение поглощения.
8. Спектроскопические методы измерения температуры атмосферы в ИК и УФ диапазонах спектра.
9. Спектроскопия и фотохимия атмосферы Венеры. Общий спектр Венеры в УФ, видимом и ИК диапазонах. Спектральные окна прозрачности атмосферы. Ночное свечение. Исследования содержания H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub> и O<sub>3</sub>.
10. Спектроскопия и фотохимия атмосферы Марса. Спектр Марса в диапазоне отраженного солнечного излучения и в тепловом диапазоне. Циклы углекислого газа и воды на Марсе. Озон и поиски метана на Марсе.
11. Химия и спектроскопия атмосфер планет-гигантов, некоторых их спутников (Ио, Титан, Тритон) и Плутона. Поиски атмосфер у экзопланет.

Примеры билетов для проведения дифференцированного зачета:

Билет №1:

1. Свойства планет и их атмосфер. Спутники планет, обладающие атмосферой.
2. Контур спектральных линий молекулярного поглощения. Механизмы уширения линий.

Билет №2:

1. Барометрическая формула; шкала высот; критерий верхней границы атмосферы. Турбулентная и молекулярная диффузии.
2. Спектроскопия и фотохимия атмосферы Венеры

#### 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**

Дифференцированный зачет проводится в устной форме по билетам. В каждом билете представлено два теоретических вопроса. При проведении зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.