

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

УТВЕРЖДЕНО
Директор физтех-школы
аэрокосмических технологий
С.С. Негодяев

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Физика низкотемпературной плазмы
по направлению:	Техническая физика
профиль подготовки:	Техническая физика космических летательных аппаратов Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра космических летательных аппаратов
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - 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: А.Л. Кусов, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры космических летательных аппаратов 17.04.2023

Аннотация

Курс "Физика низкотемпературной плазмы" относится к вариативной части образовательной программы, изучается в 1 семестре.

Изучение данной дисциплины опирается на знания, полученные в процессе освоения дисциплины "Физическая механика".

Изучение учебной дисциплины направлено на углубление и расширение базовой профессиональной подготовки магистранта, формирование соответствующих компетенций.

Содержание курса основывается на системных знаниях, полученных в ходе изучения следующих тем:

Введение в кинетическую теорию газов.

Возбуждение вращательной, колебательной и электронной энергии молекул Коэффициенты переноса в газовой динамике.

Коэффициенты переноса в газовой динамике.

Введение в химическую кинетику.

Введение в физику взаимодействия атомов с поверхностью.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- ознакомление с основными теоретическими понятиями, концепциями и подходами, используемыми для описания и моделирования неравновесных физико-химических процессов, возникающих при обтекании летательных аппаратов высокотемпературным потоком газа в атмосферах Земли и Марса.

Задачи дисциплины

- приобретение базовых знаний о структуре и составе атмосфер Земли, Марса и Венеры, о неравновесных физико-химических процессах, происходящих при нагреве газа (воздуха и CO₂) до температур порядка электрон-вольта, в том числе: газозависимых и гетерогенных химических реакций, возбуждении внутренних степеней свободы молекул, излучении атомов и молекул;
- освоение теоретических подходов, используемых для описания и моделирования физико-химических процессов в высокотемпературных неравновесных газах;
- приобретение навыков анализа современной научной литературы;
- получение представления об уравнениях, позволяющих моделировать химическую кинетику, возбуждение энергий внутренних степеней свободы молекул.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен к профессиональной эксплуатации современного научного и технологического оборудования и приборов	ОПК-1.1 Понимает принципы работы используемого оборудования
	ОПК-1.2 Способен проводить эксперимент с использованием исследовательского оборудования
	ОПК-1.3 Владеет навыками безопасной работы с современными научными приборами и другим экспериментальным оборудованием
	ОПК-1.4 Знает основные правила поведения и работы в научной лаборатории
ПК-1 Способен критически анализировать современные проблемы технической физики, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в области технической физики
	ПК-1.2 Способен ставить задачи в области профессиональной деятельности, предлагать пути их решения
	ПК-1.3 Способен разрабатывать и применять наиболее подходящие теоретические и 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:

- основы физико-химических процессов, происходящих в высокотемпературном газе, образующемся вокруг летательного аппарата, движущегося в атмосферах Земли, Марса и Венеры со второй космической скоростью;
- понятия и теоретические подходы, используемые для описания процессов в высокотемпературном газе при температуре порядка одного электрон-вольта;
- основы химической кинетики, описывающей газофазные и гетерогенные химические реакции, возбуждение внутренних степеней свободы молекул (вращательных, колебательных, электронных);
- основы молекулярно-кинетической теории газов;
- основы химической кинетики;
- основы термодинамики неравновесных процессов в газах.

уметь:

- применять теоретические модели для описания ключевых неравновесных физико-химических процессов в низкотемпературной плазме, возникающей при обтекании высокоскоростных летательных аппаратов;
- работать с современной научной литературой;
- проводить оценки скоростей различных неравновесных процессов в низкотемпературной плазме;
- использовать молекулярно-кинетическую теорию для теоретического анализа процессов переноса в газах, в том числе многокомпонентных;
- оценивать скорости химических реакций в газах;
- проводить расчёты изменения состояния реагирующих газовых потоков;
- проводить расчёты релаксации энергий внутренних степеней свободы молекул;
- оценивать уровень тепловых потоков в задачах гиперзвукового свободномолекулярного течения разреженных газов;
- самостоятельно работать с учебной, методической и справочной литературой.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- 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	Введение в кинетическую теорию газов	14			10
2	Возбуждение вращательной, колебательной и электронной энергии молекул Коэффициенты переноса в газовой динамике	16			5
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: 1 (Осенний)

1. Введение в кинетическую теорию газов

Структура атмосферы Земли и планет (Марса, Венеры, Титана). Число Кнудсена. Влияние разреженности на течение газов.

Функция распределения. Потoki массы, импульса и энергии идеального газа.

Тензорное исчисление.

Уравнения невязкой газодинамики. Тензор напряжений.

Кинетическое уравнение Больцмана. Интеграл столкновения.

Метод прямого статистического моделирования Монте-Карло.

2. Возбуждение вращательной, колебательной и электронной энергии молекул Коэффициенты переноса в газовой динамике

Модели сечений столкновения молекул. Длина свободного пробега молекул.

Формализм Дирака в квантовой механике. Нестационарная теория возмущений.

Релаксация вращательной степени свободы молекул.

Релаксация колебательной степени свободы молекул.

Энергия электронных уровней атомов и молекул.

Борновское приближение столкновения электрона с атомом.

Структура ударной волны.

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

учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Курс химической кинетики [Текст] : учебник для вузов / Н. М. Эмануэль, Д. Г. Кнорре .— М. : Высшая школа, 1984 .— 464 с.
2. Физика газового разряда [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / Ю. П. Райзер .— 3-е изд., перераб. и доп. — Долгопрудный : Интеллект, 2009 .— 736 с.
3. Численные методы Монте- Карло [Текст]/И. М. Соболев, -М., Наука, 1973
4. Принципы квантовой механики [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / П. Дирак ; пер. с 4-го англ. изд. Ю. Н. Демкова, Г. Ф. Друкарева ; под ред. и с предисл. В. А. Фока ; 2-е изд. — 2-е изд. — М. : Наука, 1979 .— 480 с.
5. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 10 : Физическая кинетика : учеб. пособие для вузов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского .— 2-е изд., испр. — М. : Физматлит, 2001, 2002, 2007 .— 536 с.

1. Дирак П.А.М. Принципы квантовой механики. М.: Наука, 1979, 480с.
2. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений, . М.: Наука, 1973, 312с.
3. Эмануэль Н.М., Кнорре Д.Г. Курс химической кинетики. М.: “Высшая школа”, 1984, 464с.
4. Bird G.A. Molecular Gas Dynamics and the Direct Simulation of Gas Flows. Oxford. Clarendon Press. 1994. 458p.
5. Гиршфельдер Дж., Кертисс Ч., Берд Р., Молекулярная теория газов и жидкостей, Изд-во иностранной литературы, 1961, 930с.
6. Ковалёв В.Л. Гетерогенные каталитические процессы в аэротермодинамике. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002, 224с.
7. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Физическая кинетика. М.: Наука, 1979, 527с.
8. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. 3-е изд. перераб. и доп. Долгопрудный: Издательский дом “Интеллект”, 2009, 736с.
9. Рыжак Е.И. Бескоординатное тензорное исчисление для механики сплошных сред. М.: МФТИ. 2011, 170с.
10. Соболев И.М. Численные методы Монте-Карло. М.: Наука, 1973, 312с.
11. Федер Е. Фракталы. М.: “Мир”, 1991, 260с.
12. Чепмен С., Каулинг Т. Математическая теория неоднородных газов. М.: Издательство иностранной литературы, 1960, 510с.

Дополнительная литература

1. Статистическая механика. Современный курс с задачами и решениями, составленный при участии Х. Ичимура [и др.] [Текст] = Statistical mechanics / Р. Кубо ; пер. с англ. под ред. и с предисл. Д. Н. Зубарева . — 2-е изд., стереотип. — М. : Ком Книга, 2007 . — 448 с.
2. Основы макрокинетики. Диффузия и теплопередача в химической кинетике [Текст] / Д. А. Франк-Каменецкий - ДолгопрудныйИнтеллект,2008
1. Кубо Р. Статистическая механика. М.: Мир, 1967, 452с.
2. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Квантовая механика. Нерелятивистская теория т.3. М.: Наука, 1989, 767с.
3. Собельман И.И. Введение в теорию атомных спектров. М.: Гос. Изд.-во Физ.-мат. лит., 1963, 640с.
4. Спитцер Л. Физика полностью ионизованного газа. М.: “Мир”, 1965, 212с.
5. Ступоченко Е.В., Лосев С.А., Осипов А.И. Релаксационные процессы в ударных волнах. М.: Наука, 1965, 484с.
6. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. М.: Наука, 1987, 502с.

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

<http://lib.mipt.ru/> – электронная библиотека Физтех
<http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».
<http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук.
<http://elibrary.ru> –электронная библиотека.

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

пакеты офисного программного обеспечения Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint), OpenOffice, язык программирования - Fortran.

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

Для успешного освоения дисциплины, помимо посещения лекций от студентов требуется выполнение самостоятельной работы. Объем самостоятельной работы должен быть не менее указанного для каждого раздела программы. В основном, это время отводится на проработку материала лекций, а также на подготовку к промежуточным тестированиям, которые проводятся для текущего контроля за усвоением материала.

Студенты, успешно прошедшие все формы промежуточного контроля, допускаются к сдаче дифференцированного зачета по дисциплине.

Самостоятельная работа включает в себя:

- ознакомление с актуальной научной литературой;
- решение задач при выполнении домашних заданий;
- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе).

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Техническая физика
профиль подготовки:	Техническая физика космических летательных аппаратов Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра космических летательных аппаратов
курс:	1
квалификация:	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет	
Разработчик:	А.Л. Кусов, канд. физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен к профессиональной эксплуатации современного научного и технологического оборудования и приборов	ОПК-1.1 Понимает принципы работы используемого оборудования
	ОПК-1.2 Способен проводить эксперимент с использованием исследовательского оборудования
	ОПК-1.3 Владеет навыками безопасной работы с современными научными приборами и другим экспериментальным оборудованием
	ОПК-1.4 Знает основные правила поведения и работы в научной лаборатории
ПК-1 Способен критически анализировать современные проблемы технической физики, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в области технической физики
	ПК-1.2 Способен ставить задачи в области профессиональной деятельности, предлагать пути их решения
	ПК-1.3 Способен разрабатывать и применять наиболее подходящие теоретические и экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
	ПК-1.4 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Физика низкотемпературной плазмы» обучающийся должен:

знать:

- основы физико-химических процессов, происходящих в высокотемпературном газе, образующемся вокруг летательного аппарата, движущегося в атмосферах Земли, Марса и Венеры со второй космической скоростью;
- понятия и теоретические подходы, используемые для описания процессов в высокотемпературном газе при температуре порядка одного электрон-вольта;
- основы химической кинетики, описывающей газофазные и гетерогенные химические реакции, возбуждение внутренних степеней свободы молекул (вращательных, колебательных, электронных);
- основы молекулярно-кинетической теории газов;
- основы химической кинетики;
- основы термодинамики неравновесных процессов в газах.

уметь:

- применять теоретические модели для описания ключевых неравновесных физико-химических процессов в низкотемпературной плазме, возникающей при обтекании высокоскоростных летательных аппаратов;
- работать с современной научной литературой;
- проводить оценки скоростей различных неравновесных процессов в низкотемпературной плазме;
- использовать молекулярно-кинетическую теорию для теоретического анализа процессов переноса в газах, в том числе многокомпонентных;
- оценивать скорости химических реакций в газах;
- проводить расчёты изменения состояния реагирующих газовых потоков;
- проводить расчёты релаксации энергий внутренних степеней свободы молекул;
- оценивать уровень тепловых потоков в задачах гиперзвукового свободномолекулярного течения разреженных газов;
- самостоятельно работать с учебной, методической и справочной литературой.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Текущий контроль осуществляется в форме защиты работ.

Примерные темы для текущего контроля:

1. Формализм Дирака в квантовой механике.
2. Кинетическое уравнение Больцмана.
3. Явления вязкости, теплопроводности и диффузии в газах.
4. Решение уравнения Больцмана методом Энскогога.

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

Промежуточная аттестация по дисциплине «Физика низкотемпературной плазмы» проводится в форме дифференцированного зачета в осеннем семестре.

Примерные вопросы для дифференцированного зачета:

1. Структура атмосферы Земли и планет (Марса, Венеры, Титана).
2. Число Кнудсена. Влияние разреженности на течение газов.
3. Функция распределения. Потоки массы, импульса и энергии идеального газа.
4. Тензорное исчисление.
5. Модели сечений столкновения молекул.
6. Релаксация вращательной степени свободы молекул.
7. Релаксация колебательной степени свободы молекул.
8. Энергия электронных уровней атомов и молекул.
9. Структура ударной волны.

Критерии оценивания

оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при выполнении курсовой работы, домашних заданий, ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины;

оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при выполнении курсовой работы, домашних заданий, ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины;

оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, знания учебной программы дисциплины при выполнении курсовой работы, домашних заданий, ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины;

оценка «хорошо (7)» выставляется студенту, если он твердо знает материал экзаменационного билета, грамотно и по существу излагает его, демонстрирует умение применять полученные знания на практике при выполнении курсовой работы и домашних заданий, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;

оценка «хорошо (6)» выставляется студенту, если он знает материал экзаменационного билета, по существу излагает его, демонстрирует умение применять полученные знания на практике при выполнении курсовой работы и домашних заданий, но допускает в ответе или в решении задач много неточностей;

оценка «хорошо (5)» выставляется студенту, если он знает материал экзаменационного билета, излагает его, демонстрирует умение применять полученные знания на практике при выполнении курсовой работы и домашних заданий, не допускает в ответе грубых ошибок;

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту, если во время ответа экзаменационного билета, при выполнении курсовой работы и домашних заданий он показал фрагментарный, характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения;

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту, если во время ответа экзаменационного билета, при выполнении курсовой работы и домашних заданий он показал разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушение логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «неудовлетворительно (2-1)» выставляется студенту, если во время ответа экзаменационного билета, он показал, что не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач.

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

Время проведения дифференцированного зачета составляет 1.5 часа, на подготовку обучающемуся предоставляется не менее 40 минут.

Во время проведения дифференцированного зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины.

По завершении отведенного на опрос времени, экзаменатор должен выставить обучающемуся оценку в соответствии с вышеприведенными критериями.