

**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**

| | |
|----------------------------|---|
| | Рабочая программа дисциплины (модуля) |
| по дисциплине: | Введение в физику переноса излучений и газов |
| по направлению: | Прикладные математика и физика |
| профиль подготовки: | Суперкомпьютерное моделирование ядерных процессов и технологий Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова кафедра моделирования ядерных процессов и технологий |
| курс: | 2 |
| квалификация: | бакалавр |

Семестр, формы промежуточной аттестации: 4 (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: А.Л. Шимкевич, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры моделирования ядерных процессов и технологий 18.05.2021

Аннотация

Студенты, изучающие курс «Введение в физику переноса излучений и газов» должны овладеть общим понятийным аппаратом и научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен иметь основные представления о физических процессах, лежащих в основе кинетической теории Больцмана, уметь задавать граничные условия для различных задач кинетической теории, рассчитывать и анализировать газокINETические процессы переноса, рассчитывать основные физические характеристики газокINETических процессов.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Изложить основы экспериментальных и теоретических методик анализа и моделирования переноса излучений и газов.

Задачи дисциплины

Формирование базовых знаний в области физики переноса массы и энергии на основе кинетического уравнения Больцмана;

обучение студентов основным методам и подходам, используемым в кинетической теории, изучение базовых принципов кинетической теории, основанной на уравнении Больцмана.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

| Код и наименование компетенции | Индикаторы достижения компетенции |
|--|--|
| ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности | ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения |
| | ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки |
| | ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов |
| ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач | ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности |
| | ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации |
| ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре | ОПК-5.1 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований и разработок |
| ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования | ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики |
| | ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем |
| | ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях |
| ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения) | ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины |

| | |
|--|--|
| ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области | ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений |
| ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов | ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области |
| | ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов |
| | ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей |

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

Основные физические принципы и методы кинетической теории Больцмана, физические явления, лежащие в основе методов переноса излучений в сложных средах и композициях.

уметь:

Решать поставленные задачи в области физики переноса излучений.

владеть:

Основами методов экспериментального моделирования проникающих излучений, методами разработки проблемно-моделирующих сред.

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 | Меры количества излучения, дозы и нормы облучения. | 3 | | | 6 |
| 2 | Поток (флюенс) частиц, плотность потока, единицы измерения. | 3 | | | 6 |
| 3 | Поглощенная доза, мощность поглощенной дозы, единицы измерения. | 3 | | | 6 |
| 4 | Коэффициенты качества (весовые множители) различных видов излучения. | 3 | | | 6 |
| 5 | Мощность дозы, единицы измерения. | 3 | | | 6 |
| 6 | Работа с закрытыми источниками излучений и радиоактивными веществами в открытом виде. | 3 | | | 6 |
| 7 | Виды взаимодействия ядерных излучений с веществом. | 3 | | | 6 |
| 8 | Сечение взаимодействия. Нейтроны. | 3 | | | 6 |
| 9 | Фотоэлектрическое поглощение, комптоновское рассеяние. | 3 | | | 6 |
| 10 | Эффект образования пар, фотоядерные реакции. | 3 | | | 6 |
| 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: 4 (Весенний)

1. Меры количества излучения, дозы и нормы облучения.

Поток (флюенс) частиц, плотность потока, единицы измерения. Поглощенная доза, мощность поглощенной дозы, единицы измерения.

Эквивалентная поглощенная доза, коэффициенты качества (весовые множители) различных видов излучения, группы критических органов (тканевые весовые множители), мощность дозы, единицы измерения, эквивалентная доза смешанного облучения.

2. Поток (флюенс) частиц, плотность потока, единицы измерения.

Постановка начальных и граничных условий для кинетического уравнения. Характерные масштабы, безразмерные величины и критерии подобия. Особенности и режимы течения газа в микро и нано устройствах.

3. Поглощенная доза, мощность поглощенной дозы, единицы измерения.

Нейтроны: сечение взаимодействия, парциальные сечения упругого и неупругого рассеяния, захвата (радиационного и с испусканием заряженных частиц), деления, пороговых реакций. Фотоны: фотоэлектрическое поглощение, комптоновское рассеяние, эффект образования пар, фотоядерные реакции.

4. Коэффициенты качества (весовые множители) различных видов излучения.

Дискретизация по скоростному пространству.

Столкновение молекул.

Методы интегрирования. Оптимальные коэффициенты Коробова. Сетки Коробова.

Методика проецирования и интерполирования.

Дискретизация по времени. Схема Эйлера. Схемы второго порядка. Схема непрерывного счета.

Учет потенциала взаимодействия молекул.

Тестирование реализации метода. Задача теплопроводности. Структура ударной волны.

5. Мощность дозы, единицы измерения.

Двухточечный проекционный метод.

Многоточечный проекционный метод.

Практическая часть.

6. Работа с закрытыми источниками излучений и радиоактивными веществами в открытом виде.

Расчет сечений столкновений двухатомных молекул с учетом вращательных степеней свободы.

Проекционный метод.

Практическая часть.

7. Виды взаимодействия ядерных излучений с веществом.

Взаимодействие тяжёлых заряженных частиц с веществом.
Взаимодействие электронов с веществом.
Взаимодействие гамма-квантов с веществом.
Нейтроны и их взаимодействие с веществом.
Использование эффектов взаимодействия ядерных излучений с веществом.

8. Сечение взаимодействия. Нейтроны.

Медленные и быстрые нейтроны. Закон " $1/v$ ".
Типы ядерных реакций под действием нейтронов.
Замедление нейтронов. Диффузия нейтронов. Альbedo нейтронов.

9. Фотоэлектрическое поглощение, комптоновское рассеяние.

Вероятность фотопоглощения в среде. Гамма-спектрометрия и идентификация изотопов.
Сечение комптоновского рассеяния на свободном электроне (формула Клейна — Нишины).
Угловые зависимости энергий рассеянного фотона и электрона отдачи.
Сравнение энергетической зависимости сечений фотоэффекта и Комптоновского рассеяния для разных сред.

10. Эффект образования пар, фотоядерные реакции.

Порог и сечение рождения электрон-позитронных пар.
Сечение поглощения фотонов атомными ядрами. Ядерная резонансная флуоресценция, гигантский дипольный резонанс, мезонный порог. Метод «меченых» фотонов.

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

Учебная аудитория, оснащенная рабочими станциями, объединенными в сеть.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Защита от ионизирующих излучений [Текст] : в 2 т., . Т. 1 Физические основы защиты от излучений / Н. Г. Гусев, В. А. Климанов, В. П. Машкович, А. П. Суворов ; под ред. Н. Г. Гусева ; 3-е изд., перераб. и доп. - М. Энергоатомиздат, 1989
2. Защита от ионизирующих излучений [Текст] : в 2 т., Т. 2 Защита от излучений ядерно-технических установок / Н. Г. Гусев, Е. Е. Ковалев, В. П. Машкович [и др.] ; под ред. Н. Г. Гусева ; 3-е изд., перераб. и доп. - М. Энергоатомиздат, 1990
3. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений [Текст] / Б. П. Голубев ; под ред. Е. Л. Столяровой - М. Атомиздат, 1971
4. 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.
5. Радиация: дозы, эффекты, риск [Текст] = Radiation: doses, effects, risks/пер. с англ. Ю. А. Банникова, -И., Мир, 1988
6. Динамика разреженного газа. Кинетическая теория [Текст]/М. Н. Коган, -М., Наука, 1967

Дополнительная литература

1. Математическая теория неоднородных газов [Текст] = The mathematical theory of non-uniform gases, монография/С. Чепмен, Т. Каулинг, -М., Изд-во иностр. лит., 1960
2. Молекулярная теория газов и жидкостей [Текст]/Дж. Гиршфельдер, Ч. Кертисс, Р. Берд, -М., Иностран.лит., 1961
1. W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, B. P. Flannery. Numerical Recipes. The art of scientific computing. Third Edition. — N. Y.: Cambridge, 2007. — p. 1235.

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

Не используются

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. В процессе самостоятельной работы обучающиеся используют следующие информационные технологии: GMSH, MPI, OpenGL.

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

Студенты, изучающие курс «Введение в физику переноса излучений и газов», должны овладеть общим понятийным аппаратом и научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен получить основные знания для практического решения прикладных физических задач в области ядерных энерготехнологий, исследований свойств материалов для противорадиационной защиты. Студент должен уметь на основе этого подхода создавать компьютерные модели для описания процессов переноса излучений в сложных средах. Показателем владения материалом служит умение решать задачи и ориентироваться в круге вопросов, связанных с проблемами переноса проникающих излучений. Для формирования умения применять теоретические знания на практике студенту необходимо разработка программ и алгоритмов численного решения уравнения Больцмана.

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 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.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

| | |
|--|--|
| по направлению: | Прикладные математика и физика |
| профиль подготовки: | Суперкомпьютерное моделирование ядерных процессов и технологий Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова кафедра моделирования ядерных процессов и технологий |
| курс: | 2 |
| квалификация: | бакалавр |
| Семестр, формы промежуточной аттестации: 4 (весенний) - Дифференцированный зачет | |
| Разработчик: | А.Л. Шимкевич, д-р физ.-мат. наук, профессор |

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

| Код и наименование компетенции | Индикаторы достижения компетенции |
|--|--|
| ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности | ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения |
| | ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки |
| | ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов |
| ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач | ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности |
| | ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации |
| ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре | ОПК-5.1 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований и разработок |
| ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования | ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики |
| | ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем |
| | ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях |
| ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения) | ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины |
| ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области | ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений |
| ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов | ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области |
| | ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов |
| | ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей |

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Введение в физику переноса излучений и газов» обучающийся должен:

знать:

Основные физические принципы и методы кинетической теории Больцмана, физические явления, лежащие в основе методов переноса излучений в сложных средах и композициях.

уметь:

Решать поставленные задачи в области физики переноса излучений.

владеть:

Основами методов экспериментального моделирования проникающих излучений, методами разработки проблемно-моделирующих сред.

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

1. Взаимодействие нейтронов с веществом.
2. Полное и парциальные сечения взаимодействия нейтронов с ядрами
3. Неупругое рассеяние нейтронов
4. Энергетический порог реакции
5. Угловое и энергетическое распределение рассеянных нейтронов
6. Вторичное гамма-излучение.
7. Радиационный захват нейтронов
8. Захват нейтронов без образования вторичного гамма-излучения.
9. Взаимодействие гамма-квантов с веществом.
10. Фотоэлектрическое поглощение гамма-квантов, сопутствующее рентгеновское и тормозное излучения.
12. Комptonовское рассеяние фотонов, изменение энергии и направления движения (анизотропия рассеяния).
13. Эффект образования пар, пороговый характер сечения, аннигиляционное гамма-излучение.
14. Взаимодействие заряженных частиц с веществом.
15. Тяжелые заряженные частицы, ионизационные потери энергии α -частиц
16. Коэффициент торможения вещества.
17. Кривая Брэгга.
18. Интегральный и дифференциальный спектры пробегов.
19. Электроны. Радиационные и ионизационные потери энергии
20. Приближенные соотношения для расчета пробега заряженных частиц в веществе.
21. Релаксационная модель.

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 недочётами.

Оценка "хорошо" (7 баллов) выставляется студенту, если он твёрдо 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 твёрдо 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 по билетам. В каждом билете представлено два теоретических вопроса и одна задача. При проведении зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.