

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО:  
Декан физического факультета  
С.Н. Филимонов

Рабочая программа дисциплины

**Элементарные процессы в плазме**  
по направлению подготовки

**03.03.02 Физика**

Направленность (профиль) подготовки:  
**«Фундаментальная физика»**

Форма обучения  
**Очная**

Квалификация  
**Бакалавр**

Год приема  
**2023**

СОГЛАСОВАНО:  
Руководитель ОП  
О.Н. Чайковская

Председатель УМК  
О.М. Сюсина

Томск – 2023

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

- ОПК 2 – Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные.
- ПК 1 – Способен проводить научные исследования в выбранной области с использованием современных экспериментальных и теоретических методов, а также информационных технологий.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 2.2 – Анализирует и интерпретирует экспериментальные и теоретические данные, полученные в ходе научного исследования, обобщает полученные результаты, формулирует научно обоснованные выводы по результатам исследования.

ИПК 1.1 - Собирает и анализирует научно-техническую информацию по теме исследования, обобщает научные данные в соответствии с задачами исследования.

## **2. Задачи освоения дисциплины**

- Освоить понятийный аппарат и методы анализа элементарных процессов в плазме.
- Научиться применять понятийный аппарат и методы элементарных процессов в плазме для решения практических задач профессиональной деятельности.

## **3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплины (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор.

## **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Семестр 5, зачет.

## **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: Математический анализ, Линейная алгебра и аналитическая геометрия, Дифференциальные уравнения, Теория функций комплексного переменного, Общая физика, Классическая механика, Квантовая механика, Методы математической физики.

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины (модуля)**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 з.е., 72 часа, из которых:

– лекции: 16 ч.;

– практические занятия: 16 ч.

в том числе практическая подготовка: 16 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## **8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам**

Тема 1. Предмет курса.

Цель, задачи и структура курса. Некоторые понятия и соотношения.

Тема 2. Основы векторной модели атома, диаграммы Гроттриана.  
Тема 3. Элементарные процессы в плазме, общее описание. Классификация процессов.  
Тема 4. Упругие процессы.  
Газокинетические столкновения, столкновения электронов с тяжелыми частицами, кулоновские взаимодействия. Резонансная перезарядка.  
Тема 5. Неупругие процессы, общее описание.  
Представление процессов, метод модифицированного диффузионного приближения, понятие равновесных процессов.  
Тема 6. Неупругие процессы с участием легких и тяжелых частиц.  
Возбуждение и девозбуждение атома электронным ударом. Прямая ионизация и тройная рекомбинация. Ступенчатая ионизация.  
Тема 7. Влияние вида ФРЭЭ на константы процессов.  
Тема 8. Неупругие столкновения тяжелых частиц.  
Критерий Мессе. Возбуждение и девозбуждение атомов и молекул. Ионизация и трехчастичная рекомбинация. Ассоциативная ионизация и диссоциативная рекомбинация. Конверсия. Термодиссоциация.  
Тема 9. Элементарные процессы с излучением.  
Торможение электронов на атомах и ионах. Фотоионизация и излучательная рекомбинация. Спонтанное и индуцированное излучение.  
Тема 10. Прилипание электронов к атомам и молекулам.  
Фотоприлипание. Прилипание в тройных столкновениях. Прилипание к сложным молекулам. Диссоциативное прилипание.  
Тема 11. Освобождение электронов из отрицательных ионов.  
Отлипание в результате столкновения с электронами. Отлипание вследствие столкновения с атомами и молекулами.

## 9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, опросов по лекционному материалу, проведения контрольной работы и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр. Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

## 10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачет в 5 семестре проводится в письменной форме по экзаменационным билетам. Продолжительность зачета 1,5 часа.  
Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

## 11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=2425>  
б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине (<https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>).

Перечень вопросов, выносимых на зачет:

1. Элементарные процессы. Закон сохранения энергии для элементарных процессов.

2. Эффективное сечение столкновения. Частота столкновений. Средняя длина свободного пробега.
3. Скорость протекания элементарных процессов. Константа скорости процесса. Принцип детального равновесия.
4. Функция распределения частиц в плазме по скоростям и энергиям. Особенности формирования ФР электронов в плазме газового разряда.
5. Дифференциальное, полное и транспортное сечения упругих соударений.
6. Столкновение электрона и атома/молекулы. Модель упругих шаров.
7. Эффект Рамзауэра.
8. Упругое взаимодействие электрона с ионом.
9. Дрейфовое движение, подвижность. Случай малых электрических полей. Проводимость слабо- и полностью ионизированной плазмы. Формула Спитцера.
10. Дрейфовое движение, подвижность. Случай сильных электрических полей. Аномалии в зависимости скорости дрейфа от напряженности электрического поля.
11. Непрерывное ускорение электронов в газе.
12. Диффузионное движение. Амбиполярная диффузия.
13. Ионизация и возбуждение в плазме.
14. Ионизация в столкновениях с электронами из основного состояния.
15. Ступенчатая ионизация в столкновениях с электронами.
16. Ионизация при столкновении быстрых тяжелых частиц. Критерий Мессе.
17. Возбуждение электронным ударом.
18. Удары второго рода. Метастабильные и резонансные состояния.
18. Тушение возбужденных атомов в соударениях с электронами.
19. Тушение возбужденных частиц при соударениях с атомами и молекулами. Эффект Пеннинга.
20. Перезарядка. Фотоионизация.
21. Процессы с участием трёх частиц. Формула Томсона.
22. Конверсия атомарных ионов в молекулярные. Возбуждение при тройных соударениях.
23. Процессы, протекающие через образование долгоживущего состояния.
24. Механизмы ионно-молекулярных реакций.
25. Рекомбинация электронов и ионов в плазме. Рекомбинирующая / переохлажденная плазма.
26. Радиационная рекомбинация. Рекомбинация через образование автоионизационного состояния. Дизэлектронная рекомбинация.
27. Рекомбинация через образование автоионизационного состояния. Диссоциативная рекомбинация.
28. Тройная рекомбинация электронов и ионов.
29. Энергия сродства атомов и молекул к электрону. Виды процессов прилипания электронов к нейтральным частицам. Фотоприлипание.
30. Диссоциативное прилипание электрона к молекуле.
31. Образование отрицательных ионов в тройных столкновениях с молекулами. Прилипание электронов к сложным молекулам.
32. Рекомбинация положительных и отрицательных ионов. Распад плазмы при наличии электроотрицательной примеси.

в) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа студента включает:

- углубленное теоретическое изучение разделов курса при подготовке к лекционным и практическим занятиям;
- подготовку к обсуждению материала, в том числе самостоятельный поиск необходимых

- источников информации, включая научно-образовательные ресурсы сети Интернет;  
– подготовку к зачету.

## 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Биберман Л. М., Воробьев В. С., Якубов И. Т. / Кинетика неравновесной низкотемпературной плазмы // Москва: Наука, 1982. – 375 С.
2. Грим Г. / Спектроскопия плазмы // Москва: Атомиздат, 1964.
3. Ю. П. Райзер. / Физика газового разряда // Москва: Наука, 1987.
4. С. Браун / Элементарные процессы в газовом разряде // Москва: Атомиздат, 1961.
5. Г. Ф. Друкарев / Столкновения электронов с атомами и молекулами // Москва: Наука, 1978.
6. Плазма в лазерах / Под ред. Дж. Бекефи // Москва: Атомиздат, 1982
7. Биберман Л. М., Норман Г. Э. / Непрерывные спектры атомных газов и плазмы // Усп. Физ. Наук., 1967. Т. 91. вып. 2. С. 193-246.
8. Фирсов О. Б. / Тормозное излучение медленных электронов на нейтральных атомах // Журнал экспериментальной и теоретической физики. 1960. Т. 39. Вып. 6(12). С.1770-1776.
9. Б. М. Смирнов / Ионы и возбужденные атомы в плазме // Москва: Атомиздат, 1974.
10. С. Э. Фриш / Оптические спектры атомов // Москва: Физ-мат. Литература, 1963.
11. Александров И. А. и др. / Влияние электрон. – электронных столкновений на кинетические коэффициенты электронов в плазме инертных газов // Журнал технической физики. 1980. Т. 50. Вып. 9. С.481.

б) дополнительная литература:

1. Касабов Г. А., Елисеев В. В. / Спектроскопические таблицы для низкотемпературной плазмы // Москва: Атомиздат, 1971.
2. Л. А. Вайнштейн, И. И. Собельман, Е. А. Юков. / Сечения возбуждения атомов и ионов электронами // – Москва.: Наука, 1973.
3. Стриганов А. Р., Свентицкий И. С. / Таблицы спектральных линий нейтральных и ионизованных атомов // Москва: Атомиздат, 1966. – 898 С.
4. Зайдель А. И., Островская Г. В. / Техника и практика спектроскопии // Москва: Наука, 1972. – 375 С.
5. Корглис Ч., Бозман У. / Вероятности переходов и сил осцилляторов для 70 элементов // Москва: Мир, 1968.
6. Стриганов А. Р., Свентицкий И. С. / Таблицы спектральных линий нейтральных и ионизованных атомов // Москва: Атомиздат, 1966. 898. С

в) ресурсы сети Интернет:

Spectral lines by Kurukz, compiled by Claas Heise, <http://cfa-www.harvard.edu/ampdata/ampdata/kurukz23/secur.html>

## 13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook); системы компьютерной вёрстки LaTeX;

– публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

- Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ –  
<http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
- Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ –  
<http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
- ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>
- ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>
- Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
- ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>
- ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

#### **14. Материально-техническое обеспечение**

Все виды материально-информационной базы Научной библиотеки ТГУ. Мультимедийное оборудование физического факультета ТГУ. Сеть Интернет. Программное обеспечение курсов, предшествующих изучению представленной дисциплины.

#### **15. Информация о разработчиках**

Сорокин Дмитрий Алексеевич, к.ф.-м.н., кафедра физики плазмы НИ ТГУ, доцент.