

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»

УТВЕРЖДЕНО
решением ученого совета ННГУ
протокол от "27" апреля 2022 г. №6

Рабочая программа дисциплины
«Физика высокочастотных и оптических разрядов»

Уровень высшего образования
Подготовка научных и научно-педагогических кадров

Научные специальности

1.1.2. Дифференциальные уравнения и математическая физика, 1.1.4. Теория вероятностей и математическая статистика, 1.1.5. Математическая логика, алгебра, теория чисел и дискретная математика, 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела, 1.2.1. Искусственный интеллект и машинное обучение, 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, 1.3.11. Физика полупроводников, 1.3.19. Лазерная физика, 1.3.4. Радиофизика, 1.3.7. Акустика, 1.3.8. Физика конденсированного состояния, 1.4.1. Неорганическая химия, 1.4.2. Аналитическая химия, 1.4.3. Органическая химия, 1.4.4. Физическая химия, 1.4.7. Высокомолекулярные соединения, 1.4.8. Химия элементоорганических соединений, 1.5.11. Микробиология, 1.5.15. Экология, 1.5.2. Биопфизика, 1.5.21. Физиология и биохимия растений, 1.5.5. Физиология человека и животных, 2.2.2. Электронная компонентная база микро и нанoeлектроники, квантовых устройств, 3.2.7. Аллергология и иммунология, 5.1.1. Теоретико-исторические правовые науки, 5.1.2. Публично-правовые (государственно-правовые) науки, 5.1.3. Частно-правовые (цивилистические) науки, 5.1.4. Уголовно-правовые науки, 5.1.5. Международно-правовые науки, 5.12.1. Междисциплинарные исследования когнитивных процессов, 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика, 5.2.4. Финансы, 5.2.6. Менеджмент, 5.3.7. Возрастная психология, 5.4.2. Экономическая социология, 5.4.4. Социальная структура, социальные институты и процессы, 5.4.6. Социология культуры, 5.4.7. Социология управления, 5.5.2. Политические институты, процессы, технологии, 5.5.4. Международные отношения, глобальные и региональные исследования, 5.6.1. Отечественная история, 5.6.2. Всеобщая история, 5.6.7. История международных отношений и внешней политики, 5.7.1. Онтология и теория познания, 5.8.2. Теория и методика обучения и воспитания, 5.8.7. Методология и технология профессионального образования, 5.9.2. Литературы народов мира, 5.9.5. Русский язык. Языки народов России, 5.9.6. Языки народов зарубежных стран (с указанием конкретного языка или группы языков), 5.9.9. Медиакоммуникации и журналистика

Нижний Новгород
2022 год

1. Место и цель дисциплины в структуре ПА

Дисциплина «Физика высокочастотных и оптических разрядов» относится к числу *факультативных* дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры и изучается на 3-ем году обучения в 5 семестре.

Цель дисциплины – ознакомление обучающихся с фундаментальными принципами электродинамики высокочастотных и оптических разрядов.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Выпускник, освоивший программу, должен

Знать:

- Основные законы и уравнения электродинамики высокочастотных и оптических разрядов;
- Законы и механизмы процессов в газоразрядной плазме;
- Основные особенности генерации электромагнитного излучения при оптическом пробое газа;

Уметь:

- Анализировать физические аспекты теории и возможности ее использования для решения научно-исследовательских задач;
- Использовать полученные знания с учетом новейшего отечественного и зарубежного опыта для анализа и исследования особенностей высокочастотных и оптических разрядов;

Владеть:

- Теоретическими и численными методами анализа плазменно-полевых структур в оптических разрядах.

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., всего - 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Таблица 1

Структура дисциплины

| Наименование раздела дисциплины | Всего, часов | В том числе | | | | | |
|--|--------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------|-------|--|
| | | Контактная работа, часов | | | | | Самостоятельная работа обучающегося, часов |
| | | Занятия лекционного типа | Занятия семинарского типа | Занятия лабораторного типа | Консультации | Всего | |
| 1. Введение. Объемные элементарные процессы | 4 | 2 | | | | 2 | 2 |
| 2. Процессы переноса в газоразрядной плазме | 4 | 2 | | | | 2 | 2 |
| 3. Уравнения баланса частиц и энергии | 4 | 2 | | | | 2 | 2 |
| 4. Пробой газа в статических, высокочастотных и оптических полях | 7 | 4 | | | | 4 | 3 |

| | | | | | | | |
|--|-----------|-----------|--|--|--|-----------|-----------|
| 5. Электродинамика разряда в волновых электромагнитных пучках | 11 | 6 | | | | 6 | 5 |
| 6. Основные типы ионизационно-полевых неустойчивостей разряда | 12 | 6 | | | | 6 | 6 |
| 7. Механизмы преобразования спектров электромагнитного излучения при пробое | 11 | 6 | | | | 6 | 5 |
| 8. Использование оптических разрядов для генерации электромагнитного излучения в труднодоступных частотных диапазонах | 10 | 4 | | | | 4 | 6 |
| 9. Численные методы моделирования плазменно-полевых структур в оптических разрядах на высокопроизводительных вычислительных системах | 9 | 4 | | | | 4 | 5 |
| Промежуточная аттестация: – зачет | | | | | | | |
| Итого | 72 | 36 | | | | 36 | 36 |

Таблица 2

Содержание дисциплины

| № п/п | Наименование раздела дисциплины | Содержание раздела | Форма проведения занятия | Форма текущего контроля* |
|--------------|---|--|---------------------------------|---------------------------------|
| 1. | Введение. Объемные элементарные процессы | Объемные элементарные процессы, определяющие кинетику ионизации в газовом разряде (электронный удар, сечения ионизации, диссоциативное и трехчастичное прилипание, электрон-ионная рекомбинация, разрушение отрицательных ионов). | Лекции | - |
| 2. | Процессы переноса в газоразрядной плазме | Свободная и амбиполярная диффузия; термодиффузия; теплопроводность, проводимость. | Лекции | - |
| 3. | Уравнения баланса частиц и энергии | Уравнения баланса частиц и энергии в газовом разряде; их стационарные и простейшие динамические решения. Процессы нагрева электронной компоненты в разряде. | Лекции | - |
| 4 | Пробой газа в статических, высокочастотных и оптических полях | Пороги пробоя, зависимость скорости лавинообразного процесса от давления газа, частоты и амплитуды электрического поля. Влияние плазмы разряда на величину и структуру поля. Основные механизмы насыщения лавины при пробое. Многофотонная и туннельная ионизация. | Лекции | - |

| | | | | |
|----|---|---|--------|---|
| 5. | Электродинамика разряда в волновых электромагнитных пучках | Роль процессов рефракции и поглощения волны. Волна пробоя в волновом пучке. Предельные значения электронной концентрации. Разряд вблизи одиночного электрода. | Лекции | - |
| 6. | Основные типы ионизационно-полевых неустойчивостей разряда | Вынужденное ионизационное рассеяние. Мелкомасштабная плазменно-резонансная неустойчивость. Ионизационно-полевая неустойчивость пространственно-ограниченного разряда. Ионизационно-перегревная неустойчивость в поле электромагнитной волны. | Лекции | - |
| 7. | Механизмы преобразования спектров электромагнитного излучения при пробое | Частотно-модовая конверсия электромагнитных волн в процессе пробоя. Резонансное и ударное возбуждение плазменных колебаний и их излучение. | Лекции | - |
| 8. | Использование оптических разрядов для генерации электромагнитного излучения в труднодоступных частотных диапазонах | Генерация терагерцового излучения при оптическом пробое газа: схемы с внешними статическими полями и схемы самоиндуцированной генерации ионизирующими полями. Генерация вакуумного ультрафиолетового и мягкого рентгеновского излучения при оптическом пробое газа. | Лекции | - |
| 9. | Численные методы моделирования плазменно-полевых структур в оптических разрядах на высокопроизводительных вычислительных системах | Методы решения нестационарного уравнения Шредингера для описания процессов ионизации в интенсивных электромагнитных полях. Псевдоспектральный метод, быстрое преобразование Фурье, дискретное преобразование Ханкеля. Методы решения системы уравнений Максвелла-Шредингера на многопроцессорных вычислительных системах. Модели пониженной размерности. Алгоритмы распараллеливания. | Лекции | - |

4. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

1. Собеседование с обучающимися во время аудиторных занятий.

2. Как оценочный способ контроля самостоятельной работы студентов и одновременно разновидность интерактивного обучения используется форма групповой консультации по отдельным разделам дисциплины в виде семинаров по современным проблемам радиофизики, проводимым на кафедре факультативно.

5. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине

5.1. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине

При выполнении всех работ учитываются следующие **основные критерии**:

- уровень теоретических знаний (подразумевается не только формальное воспроизведение информации, но и понимание предмета, которое подтверждается правильными ответами на дополнительные, уточняющие вопросы);
- умение использовать теоретические знания при анализе конкретных проблем, ситуаций;
- качество изложения материала, то есть обоснованность, четкость, логичность ответа, а также его полнота (то есть содержательность, не исключающая сжатости);
- способность устанавливать внутри- и межпредметные связи,
- оригинальность мышления, знакомство с дополнительной литературой и другие факторы.

Описание шкалы оценивания на промежуточной аттестации в форме зачета

| Оценка | Уровень подготовленности, характеризуемый оценкой |
|-------------------|--|
| <i>Зачтено</i> | владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, умение самостоятельно обозначить проблемные ситуации в организации научных исследований, способность критически анализировать и сравнивать существующие подходы и методы к оценке результативности научной деятельности, свободное владение источниками, умение четко и ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях. |
| <i>Не зачтено</i> | непонимание смысла ключевых проблем, недостаточное владение науковедческой терминологией, неумение самостоятельно обозначить проблемные ситуации, неспособность анализировать и сравнивать существующие концепции, подходы и методы, неумение ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях. |

5.2. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, используемых для оценивания результатов обучения по дисциплине

1. Уравнение баланса частиц в разряде.
2. Уравнение баланса энергии в разряде.
3. Вероятности многофотонной и туннельной ионизации.
4. Величина пробойного поля при заданных параметрах газа и разрядного промежутка.
5. Инкремент плазменно-резонансной неустойчивости однородного разряда.
6. Ионизационно-полевая неустойчивость пространственно-ограниченного разряда.
7. Ионизационно-перегревная неустойчивость.
8. Дисперсионное уравнение для волн в плазменном слое.
9. Резонансное и ударное возбуждение плазменных колебаний.
10. Механизмы генерации терагерцового излучения при оптическом пробое газа.
11. Механизмы генерации вакуумного ультрафиолетового и мягкого рентгеновского излучения при оптическом пробое газа.
12. Псевдоспектральный метод численного решения нестационарного уравнения Шредингера.

13. Быстрое преобразование Фурье.
14. Дискретное преобразование Ханкеля.
15. Квантовомеханические модели пониженной размерности.
16. Алгоритмы распараллеливания при численном решении системы уравнений Максвелла-Шредингера на многопроцессорных вычислительных системах.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.

а) Основная литература

1. Райзер Ю. П. - Физика газового разряда. - Долгопрудный: Интеллект, 2009. - 736 с.
2. Делоне, Н.Б. Нелинейная ионизация атомов лазерным излучением. [Электронный ресурс] / Н.Б. Делоне, В.П. Крайнов. — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2001. — 320 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/59287> — Загл. с экрана.
3. Юнаковский А. Д. - Начала вычислительных методов для физиков. - Н. Новгород: ИПФ РАН, 2007. - 220 с.

б) Дополнительная литература

1. Введенский Н. В., Романов А.А., Рябикин М. Ю., Силаев А. А. Редуцированные подходы к квантовомеханическому моделированию ионизационных процессов в сильных полях: Учебно-методическое пособие. — Н.Новгород: Издательство Нижегородского государственного университета, 2021. — 37 с.

в) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. Microsoft Office (номера лицензий: 62421356 (12 шт.), 62421349);
2. Электронно-библиотечные системы (электронная библиотека):
<http://e.lanbook.com/>; <http://www.biblioclub.ru>.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования и помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети Интернет и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ;
- материально-техническое обеспечение, необходимое для реализации дисциплины, включая лабораторное оборудование;
- лицензионное программное обеспечение: *Windows, Microsoft Office*;
- обучающиеся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья обеспечиваются электронными и (или) печатными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.

Рабочая программа учебной дисциплины составлена в соответствии с учебным планом, Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 № 2122), Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки

научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Приказ Минобрнауки РФ от 20.10.2021 № 951).

Авторы _____ Н.В. Введенский

Рецензент _____ В.Г. Гавриленко

Заведующий кафедрой _____ А.В. Кудрин

Программа одобрена на заседании Методической комиссии радиофизического факультета от «20» января 2022 года, протокол № 01/22.