

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

Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ:  
Декан физического факультета  
С.Н. Филимонов

Рабочая программа дисциплины

**Физика пучков заряженных частиц**

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**

Формирование у слушателя целостных представлений о физических основах получения, транспортировки, применений сильноточных пучков заряженных частиц.

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

Дисциплина входит в профессиональный модуль «Физика плазмы».

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 6, дифференцированный 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: Общая физика, классическая механика, классическая электродинамика, математический анализ, методы математической физики.

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины (модуля)**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 часа, из которых:

– лекции: 32 ч.;

–практические занятия: 32 ч.;

– в том числе практическая подготовка: 32 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

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

Раздел 1. Введение в дисциплину.

Электронные пучки в импульсной энергетике и сильноточной электронике.

Раздел 2. Движение заряженных частиц.

Уравнения электромагнитного поля и уравнения движения заряженной частицы. Симметрии электромагнитного поля и законы сохранения. Движение заряженной частицы в постоянных однородных полях. Движение заряженной частицы в слабо неоднородном магнитостатическом поле. Транспортировка сильноточного пучка магнитным полем.

Раздел 3. Вакуумные электронные диоды.

Формирование сильноточных электронных пучков. Виды вакуумных диодов. Плоский вакуумный диод. Ток в сильноточных диодах с дискретной поверхностью эмиссии. Соотношение электрических и магнитных сил в диоде. Зарядовая и токовая нейтрализация пучков. Ток Альфвена.

Раздел 4. Транспортировка сильноточных пучков.

Токопрохождение в плоском эквипотенциальном промежутке. Релаксационные колебания объемного заряда. Предельный ток транспортировки трубчатого электронного пучка в однородной круглой трубе дрейфа.

Раздел 5. Диоды и линии с магнитной изоляцией. Волны объемного заряда.

Ток коаксиального диода с магнитной изоляцией. Магнитная изоляция и магнитная самоизоляция. Волны объемного заряда в электронном потоке.

## **9. Текущий контроль по дисциплине**

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ, тестов по лекционному материалу, решения задач 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 6 семестре проводится в письменной форме по экзаменационным билетам. Продолжительность экзамена 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**

Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=24834>

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**

**Основная:**

1. Кирштейн П, Кайно Г., Уотерс У. Формирование электронных пучков. – М., Мир, 1979.
2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. Т. I. Механика. М.: Наука, 1988. – 215 с.

3. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. Т. II. Теория поля. М.: Наука, 1988. – 509 с.
4. Лоусон Дж. Физика пучков заряженных частиц. М. Мир, 1980.
5. Миллер Р. Введение в физику сильноточных пучков заряженных частиц. – М.: Мир, 1984. – 431 с.
6. Молоковский С.И., Сушков А.Д. Интенсивные электронные и ионные пучки. М.: Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.
7. Рухадзе А.А., Богданкевич Л.С., Росинский С.Е., Рухлин В.Г. Физика сильноточных релятивистских электронных пучков. М.: Атомиздат, 1981. – 164 с.

*Дополнительная:*

8. Алямовский И.В. Электронные пучки и электронные пушки. М.: Советское радио, 1966. – 466 с.
9. Беломытцев С. Я., Коровин С. Д., Пегель И. В. Ток в сильноточном планарном диоде с дискретной эмиссионной поверхностью // ЖТФ. – 1999. – Т. 69. – В. 6. – С. 97—101.
10. Беломытцев С. Я., Литвинов Е. А., Месяц Г. А., Федосов А. И. Характеристики электронного пучка, формируемого в диоде с магнитной изоляцией // Физика плазмы. – 1981. – Т. 7. – В. 1. – С. 86—90.
11. Бугаев С. П., Зайцев Н. И., Ким А. А., Кошелев В. И., Федосов А. И., Фукс М. И. Процессы в диодах с магнитной изоляцией, использующих взрывную эмиссию электронов / в кн.: Релятивистская высокочастотная электроника. В. 2. Проблемы повышения мощности и частоты излучения. – Горький: ИПФ АН СССР, 1981. – С. 37.
12. Быстрицкий В.М., Диденко А.Н. Мощные ионные пучки. М.: Энергоатомиздат, 1984. – 152 с.
13. Гвоздовер З. Д. Теория электронных приборов сверхвысоких частот. – М: Гостехтеориздат, 1956. – 527 с.
14. Генерирование длинноимпульсных сильноточных электронных пучков/ Василевский М.А., Ройфе И.М., Энгелько В.И. – В кн.: Релятивистская высокочастотная электроника. Вып. 3. – Горький: ИПФ АН СССР, 1983, с. 184—203.
15. Диденко А.Н., Григорьев В.П., Усов Ю.П. Мощные электронные пучки и их применение, Атомиздат, 1977.
16. Добрецов Л. Н., Гомоюнова М. В. Эмиссионная электроника. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1966. – 564 с.
17. Кузелев М. В., Рухадзе А. А., Стрелков П. С. Плазменная релятивистская СВЧ-электроника / Под ред. А. А. Рухадзе. – Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 543 с.
18. Мейлинг В. Стари Ф. Наносекундная импульсная техника. М.: Атомиздат. – 1973. – 384 с.
19. Месяц Г.А. Импульсная энергетика и электроника. М.: Наука, 2004. – 704 с.
20. Москалев В.А. Сергеев Г.И. Измерение параметров пучков заряженных частиц. М.: Энергоатомиздат, 1991. – 237 с.
21. Нечаев В. Е. Аналитическая теория формирования трубчатых электронных пучков различной толщины в сильноточных коаксиальных диодах с магнитной изоляцией // Известия вузов. Радиофизика. – 1991. – Т. 34. – № 9. – С. 1027—1039.
22. Пирс Дж. П. Теория и расчет электронных пучков. М., Сов. Радио, 1956.
23. Пространственно-временные характеристики РЭП А.Ф. Александров, С.Ю. Галузо, Н.И. Зайцев, В.И. Кошелев, П.С. Стрелков, А.В. Федотов, А.Г. Шкварунец, М.Ю. Шмелев. В.И. Энгелько. – В кн.: Релятивистская высокочастотная электроника. Вып. 5. – Горький: ИПФ АН СССР, 1988, с. 163—182.

24. Сильноточные импульсные электронные пучки в технологии / под ред. Г. А. Месяца. – Новосибирск: Наука, 1983. – 168 с.
25. Трубецков Д. И., Храмов А. Е. Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков. Том 1. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 496 с.
26. Трубецков Д. И., Храмов А. Е. Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков. Том 2. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 648 с.
27. Федосов А. И., Литвинов Е. А., Беломытцев С. Я., Бугаев С. П. К расчету характеристик электронного пучка, формируемого в диодах с магнитной изоляцией // Известия вузов. Физика. – 1977. – № 10. – С. 134—135.
28. Формирование сильноточных релятивистских электронных пучков для мощных генераторов и усилителей СВЧ С.П. Бугаев, В.П. Ильин, В.И. Кошелев, Г.А. Месяц, В.Е. Нечаев, Ю.П. Усов, М.И. Фукс, Б.Н. Яблоков. – В кн.: Релятивистская высокочастотная электроника. Вып. 1. – Горький: ИПФ АН СССР, 1979, с. 5—75.

### **13. Перечень информационных технологий**

- 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.).

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

- Аудитории для проведения занятий лекционного типа.
- Аудитории для проведения практических занятий, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.
- Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

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

Припутнев Павел Владимирович, старший преподаватель кафедры Физики плазмы НИ ТГУ, научный сотрудник Лаборатории нелинейных электродинамических систем ИСЭ СО РАН.