

**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 " 30 " ноября 2022 г. № 13

**Рабочая программа дисциплины**  
**Электронная оптика мощных приборов СВЧ диапазона**

Уровень высшего образования  
**Подготовка научных и научно-педагогических кадров**

Программа аспирантуры  
**Радиофизика**

Научная специальность  
**1.3.4 Радиофизика**

Форма обучения  
**Очная**

Нижний Новгород  
2023 год начала подготовки

### 1. Место и цель дисциплины в структуре ПА

Дисциплина «Электронная оптика мощных приборов СВЧ диапазона» относится к числу *элективных* дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры и изучается на 2-ом году обучения в 4-ом семестре.

**Цель дисциплины** – углубленное ознакомление аспирантов с устройством и физикой работы современных электронно-оптических систем формирования интенсивных электронных пучков, используемых в качестве активной среды (источника энергии излучения) в мощных электронных приборах СВЧ.

### 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Выпускник, освоивший программу, должен

**Знать:**

основные типы электронно-оптических систем приборов СВЧ, используемые в них механизмы эмиссии электронов.

**Уметь:** проводить элементарные оценки параметров электронно-оптических систем, пригодных для реализации различных механизмов излучения электронов в СВЧ приборах.

**Владеть:** методикой выбора параметров электронно-оптических систем, их электрического режима и геометрии.

### 3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины (модуля) составляет 3 з.е., всего - 108 часов, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа), 72 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

**Таблица 1**

**Структура дисциплины**

Наименование раздела дисциплины	Всего, часов	В том числе					Самостоятельная работа обучающегося, часов
		Контактная работа, часов					
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	
1. Введение	6	2	-	-	-	2	4
2. Требования к параметрам электронных пучков	21	7	-	-	-	7	14
3. Сильноточные ускорители электронов для СВЧ электроники с взрывоэмиссионными катодами	27	9	-	-	-	9	18
4. Электронно-оптические системы релятивистских МЦР	27	9	-	-	-	9	18
5. Электронно-оптические системы гиротронов	27	9	-	-	-	9	18
Аттестация по дисциплине – зачет							
Итого	108	36	-	-	-	36	72

**Таблица 2****Содержание дисциплины**

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятия	Форма текущего контроля*
1	Введение	Предмет и задачи курса. Разделы курса	Лекции	-
2	Требования к параметрам электронных пучков	Механизмы энергообмена между пучком и электромагнитным полем и вытекающие из них требования к параметрам пучков. Требования к винтовым электронным пучкам МЦР. Адиабатические и неадиабатические системы формирования винтовых электронных пучков (ВЭП).	Лекции	выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте
3	Сильноточные ускорители электронов для СВЧ электроники с взрывоэмиссионными катодами	Короткоимпульсные системы формирования ВЭП. Генерирование мощных импульсов с помощью сильноточных ускорителей – СЭУ (первичный накопитель, промежуточные накопители, коммутаторы). Взрывная эмиссия: разогрев и взрыв острий, формирование микрорельефа поверхности катода, скорость разлета катодной плазмы, влияние магнитного поля на взрывную эмиссию. Разновидности диодов с взрывной эмиссией (с острийным катодом, планарный, коаксиальный диод с магнитной изоляцией). Предельный ток транспортировки и устойчивость пучка в канале транспортировки. Коллекторная плазма.	Лекции	выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте
4	Электронно-оптические системы релятивистских МЦР	Общая схема формирования ВЭП (формирование прямолинейного пучка с последующей раскачкой). Короткоимпульсные системы с взрывной эмиссией. Пушки с торцевым катодом и квазипирсовские системы. Проблема паразитной эмиссии. Способы снижения скоростного разброса (диафрагмирование и установка корректирующих магнитных линз). Достоинства и недостатки систем с взрывной эмиссией. Длинноимпульсные системы с термоэмиссионными катодами. Необходимость большой компрессии. Причины возникновения пульсаций в пучке. Принципы формирования пучков с бриллюэновским и добриллюэновским	Лекции	выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте

		магнитным полем в канале транспортировки. Магнитное сопровождение пучка. Принцип работы и устройство системы накачки осцилляторной энергии (кикера). Допуски на величину пульсаций на входе в кикер.		
5	Электронно-оптические системы гиротронов	Устройство и принципы работы ЭОС гиротрона (магнетронно-инжекторная пушка – МИП, переходная область, коллектор). Адиабатическая теория МИП. Формулы расчета МИП. Причины возникновения скоростного разброса. Результаты численного моделирования ЭОС (моноскоростная модель). Методика снижения позиционного скоростного разброса. Классификация пучков (ламинарный, пограничный, регулярно пересекающийся, перемешанный) и влияние пространственного заряда на скоростной разброс в различных типах пучков. Зависимость разброса скоростей от тока пучка для различных типов пучков. Катодная неустойчивость. Результаты моделирования ВЭП на основе статической модели пучка с начальными скоростями. Обзор основных результатов моделирования МИП при учете отражения электронов от магнитного зеркала. Экспериментальное исследование винтовых электронных пучков. Магнетронно-инжекторные пушки гиротронов в режиме ограничения тока пространственным зарядом. Аналитическая модель диода в наклонном магнитном поле. Основные выводы и оценки. Экспериментальное исследование МИП в режиме ограничения тока пространственным зарядом.	Лекции	выборочная проверка одного из разделов портфолио, предоставленного проверяющему по электронной почте

#### **4. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся**

1. Еженедельный контроль посещаемости аудиторных занятий.
2. Как оценочный способ контроля самостоятельной работы аспирантов и одновременно разновидность интерактивного обучения используется форма выборочной проверки (в соответствии со списком вопросов 5.4) состояния отдельных частей индивидуального портфолио обучающегося не менее двух раз в течение семестра.
3. Трансляции по электронной почте на адреса всех аспирантов, изучающих дисциплину «Электронная оптика мощных приборов СВЧ диапазона», ответа преподавателя на индивидуальный вопрос (по программе дисциплины) одного из обучающихся.

#### **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**

<b>Оценка</b>	<b>Уровень подготовленности, характеризуемый оценкой</b>
<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. Разница между адиабатическими и неадиабатическими системами формирования электронных пучков.
2. Основные этапы развития взрывной эмиссии.
3. Способы снижения скоростного разброса в электронно-оптических системах релятивистских МЦР.
4. Причины возникновения пульсаций в электроном пучке для систем с большой компрессией магнитным полем.
5. Магнитное сопровождение пучка.
6. Принцип работы и устройство системы накачки осцилляторной энергии (кикера).
7. Причины возникновения скоростного разброса в МИП.
8. Классификация пучков в МИП (ламинарный, пограничный, регулярно пересекающийся, перемешанный) и влияние пространственного заряда на скоростной разброс в различных типах пучков. Зависимость разброса скоростей от тока пучка для различных типов пучков.
9. Влияние магнитного зеркала на качество винтовых электронных пучков.

**6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

а) Основная литература:

1. Трубецков Д. И., Храмов А. Е. - Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков: в 2 т. - М.: Физматлит, 2003.
2. Трубецков Д. И. - Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков. Т. 2. - М., 2004. - 648 с.

3. Алямовский И. В. - Электронные пучки и электронные пушки. - М.: Советское радио, 1966. - 456 с

б) Дополнительная литература:

1. Гайдук В. И., Палатов К. И., Петров Д. М. - Физические основы электроники сверхвысоких частот. - М.: Советское радио, 1971. - 600 с.

2. Электронные приборы СВЧ: [учеб. пособие для вузов по специальности "Электрон. приборы"]./Березин В. М., Буряк В. С., Гутцайт Э. М., [и др.]. - М.: Высшая школа, 1985. - 296 с.

в) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Электронно-библиотечные системы (электронная библиотека):

1. <http://e.lanbook.com/>;

2. <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).

Автор: д.ф.-м.н., проф. В.Н. Мануилов

Рецензент: к.ф.-м.н., доцент Н.Д. Миловский

Зав. кафедрой квантовой радиофизики и электроники: д.ф.-м.н., снс С.А. Бельков

**Программа одобрена** на заседании Методической комиссии радиофизического факультета от «14» ноября 2022 года, протокол № 08/22.