

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Высшая школа общей и прикладной физики

Программа утверждена решением президиума
Ученого совета ННГУ
протокол от «14» декабря 2021г. № 4.

Рабочая программа дисциплины

Релятивистская высокочастотная электроника

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки / специальность
03.03.02 – Физика

Направленность образовательной программы
Фундаментальная физика

Форма обучения
очная

Нижний Новгород

2022 год

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.04.01 «Релятивистская высокочастотная электроника» относится к дисциплинам по выбору ООП направления подготовки 03.03.02 Физика.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
<i>ПК-2: Способен применять в научно-исследовательской деятельности профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных дисциплин</i>	<i>Демонстрация способности применять в научно-исследовательской деятельности профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных дисциплин</i>	<i>Знать теорию линейных и нелинейных процессов в электронных усилителях и генераторах с распределенным взаимодействием в комплексе с основами курсов теоретической физики, на которых базируется высокочастотная электроника. Уметь пользоваться основными уравнениями теории электронных усилителей и генераторов для описания процессов электронно-волнового взаимодействия. Владеть навыками расчета электронных усилителей и генераторов.</i>	<i>Собеседование и задачи (практические задания)</i>
<i>ПК-4: Способен использовать полученные профессиональные знания при реализации научно-исследовательских, научно-инновационных и практических проектов</i>	<i>Демонстрация способности использовать полученные профессиональные знания при реализации научно-исследовательских, научно-инновационных и практических проектов</i>	<i>Знать основные современные методы анализа, синтеза и обработки физической информации в области волновых процессов в распределенных электронных системах. Уметь использовать современные методы анализа, синтеза и обработки физической информации в распределенных электронных системах с целью</i>	<i>Собеседование и задачи (практические задания)</i>

		<p>исследования существующих и разработки новых приборов СВЧ.</p> <p>Владеть навыками современных методов анализа, синтеза и обработки физической информации в области волновых процессов в распределенных электронных системах.</p>	
--	--	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	24
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	24
- КСР	2
самостоятельная работа	22
Промежуточная аттестация	36 экзамен

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)		в том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы
	Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы						
			из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего		
	очная	очная	очная	очная	очная	очная	
Введение в вакуумную электронику	6	2	2	0	4	2	

Классификация электронных генераторов и усилителей по механизмов индуцированного излучения	6	2	2	0	4	2
Приборы, основанные на черенковском излучении: ЛБВ ЛОВ, магнетрон , клистрон	12	4	4	0	8	4
Приборы, основанные на циклотронном механизме излучения: мазеры на цикло-тронном резонансе, гиротроны	12	4	4	0	8	4
Приборы, основанные на ондуляторном излучении и вынужденном рассеянии волн – убитроны, лазеры на свободных электронах	12	4	4	0	8	4
Методы организации обратной связи в приборах классической и квантовой электроники	10	4	4	0	8	2
Методы электродинамической и электронной селекции мод в мощных электронных ге-нераторах и усилителях	12	4	4	0	8	4
Аттестация	36					
КСР	2				2	
Итого	108	24	24	0	50	22

Практические занятия (семинарские занятия /лабораторные работы) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Практическая подготовка предусматривает:

Разбор решения задач различной степени сложности, проведение обсуждения рассматриваемых проблем в свете последних научных достижений в соответствующей области знаний. Студенты работают как индивидуально, так и коллективно.

На проведение практических занятий (семинарских занятий /лабораторных работ) в форме практической подготовки отводится 6 ч.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП:

Применение знаний и умений при решении научно-исследовательских задач профессиональной деятельности

- компетенций:

ПК-2: Способен применять в научно-исследовательской деятельности профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных дисциплин;

ПК-4: Способен использовать полученные профессиональные знания при реализации научно-исследовательских, научно-инновационных и практических проектов

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках: занятий семинарского типа, групповых консультаций, индивидуальных консультаций.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены

	отказа обучающегося от ответа	место грубые ошибки.	Выполнены все задания но не в полном объеме.	Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	полном объеме, но некоторые с недочетами.	несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом . Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
Зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	Удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

(согласно оценочным средствам табл.2)

5.2.1 Контрольные вопросы

<i>Вопрос</i>	<i>Код формируемой компетенции</i>
1. СВЧ приборы, основанные на черенковском механизме индуцированного излучения электронных потоков (ЛБВ, ЛОВ, клистрон).	ПК-2, ПК-4
2. Дисперсионное уравнение ЛБВ. Высоочастотный пространственный заряд (режимы взаимодействия на волнах пространственного заряда и частицах)	ПК-2, ПК-4
3. Абсолютная и конвективная неустойчивость. Основные типы электронных генераторов и усилителей	ПК-2, ПК-4
4. Теорема Флоке. Основные свойства периодически гофрированных волноводов	ПК-2, ПК-4
5. ЛБВ- нелинейная теория, оценки КПД и области оптимальных параметров ЛБВ на основе анализа условий синхронизма	ПК-2, ПК-4
6. Резонансные генераторы. Восприимчивость, вносимая электронным пучком в резонатор	ПК-2, ПК-4
7. Лампа обратной волны	ПК-2, ПК-4
8. Клистрон	ПК-2, ПК-4
9. Магнетрон (принцип действия, сходства и отличие от ЛБВ.)	ПК-2, ПК-4
10. СВЧ приборы, основанные на циклотронном механизме индуцированного излучения электронных потоков (МЦР, гиротрон). Нормальный и аномальный эффекты Доплера.	ПК-2, ПК-4
11. Оценки КПД и области оптимальных параметров МЦР, на основе анализа условий синхронизма и требований на величину начальной вращательной энергии частиц.	ПК-2, ПК-4
12. Линейная теория МЦР (дисперсионное уравнение и его анализ).	ПК-2, ПК-4
13. Гиротрон. Уравнения движения частиц в гиротроне (уравнение неизохронного осциллятора).	ПК-2, ПК-4
14. Генераторы, основанные на ондуляторном механизме индуцированного излучения электронных потоков и вынужденном рассеянии волн (лазеры на свободных электронах). Доплеровское преобразование частоты.	ПК-2, ПК-4
15. Пондеромоторная сила. Усредненные уравнения движения частиц в ЛСЭ.	ПК-2, ПК-4
16. Механизм повышения КПД ЛСЭ на основе использования режима обращенного линейного ускорителя.	ПК-2, ПК-4

5.2.2 Теоретические вопросы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

Типовые задания для оценки сформированности компетенции ПК-4, ПК-2:

Задача 1.1 Вывести и проанализировать дисперсионное уравнение лампы бегущей волны

Задача 1.2 Найти условия реализации максимального КПД в лазерах на свободных электронах.

Задача 1.3 Построить фазовую плоскость, описывающую движение частиц в условиях авторезонанса.

Задача 2.1 Провести синтез продольного профиля ондулятора, обеспечивающего режим захвата и адиабатического торможения электронов в ЛСЭ.

Задача 2.2 Проанализировать нелинейные уравнения ламп бегущей и обратной волны..

Задача 2.3 Получить соотношения Мэнли-Роу для встречного рассеяния волны накачки на релятивистском электронном пучке. обосновать возможность использования низкочастотной накачки для усиления высокочастотного излучения.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) основная литература:

- 1) Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. М., Физматлит, 2006. -536 с. — Режим доступа: ЭБС «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922100564.html>
- 2) Теоретическая физика. Т. VIII. Электродинамика сплошных сред [Электронный ресурс]: Учеб. пособ.: Для вузов. / Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. -4-е изд., стереот. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2005. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922101234.html>
- 3) Вайнштейн Л.А., Солнцев В.А. Лекции по сверхвысокочастотной электронике, М. Советское Радио, 1973. -399 с. – 65 экз.
- 4) Трубецков Д.И., Храмов А.Е Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков. В двух томах. М. Физматлит. 2003 -496 с. — Режим доступа: ЭБС «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922103725.html>

б) дополнительная литература:

- 5) Гапонов В.И. Электроника, М. Советское Радио, 1960.
Часть 1 -516 с. -9 экз.
Часть 2 -592 с. -9 экз.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины)

- 1) Публикации ИПФРАН, Релятивистская высокочастотная электроника http://www.iapras.ru/biblio/rve_1.html
- 2) Публикации ИПФРАН, Релятивистская высокочастотная электроника
Проблемы повышения мощности и частоты излучения http://www.iapras.ru/biblio/rve_2.html

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: для проведения лекций и практических занятий требуется типовое оборудование лекционной аудитории.

Для подготовки самостоятельных контрольных работ и для их графического представления (если это необходимо), а также для расширения коммуникационных возможностей студенты имеют возможность работать в компьютерных классах с соответствующим лицензионным программным обеспечением и выходом в Интернет.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО/ОС ННГУ по направлению 03.03.02 - Физика.

Автор(ы): Н.С. Гинзбург

Заведующий кафедрой:

Программа одобрена на заседании методической комиссии ВШОПФ от 30.06.2021, протокол № 3.