

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

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Релятивистская высокочастотная электроника

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

03.04.02 - Физика

Направленность образовательной программы

Общая и прикладная физика

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.01.01.02 Релятивистская высокочастотная электроника относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

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	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
<i>ПК-1: Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта</i>	<i>ПК-1.1: Демонстрация способности самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта</i>	<i>ПК-1.1: Знать основные явления и эффекты, связанные с индуцированным излучением релятивистских электронных пучков. Уметь пользоваться основными подходами для расчета релятивистских электронных генераторов и усилителей. Владеть навыками решения задач, основываясь на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях и умениях.</i>	<i>Задачи</i>	<i>Экзамен: Задачи Контрольные вопросы</i>
<i>ПК-3: Способен свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной и проектной деятельности</i>	<i>ПК-3.1: Демонстрация способности свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научноинновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной и проектной деятельности</i>	<i>ПК-3.1: Знать основные явления и эффекты, связанные с индуцированным излучением релятивистских электронных пучков. Уметь пользоваться основными подходами для расчета релятивистских электронных генераторов и усилителей. Владеть навыками решения задач, основываясь на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях и умениях.</i>	<i>Задачи</i>	<i>Экзамен: Задачи Контрольные вопросы</i>

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	2
самостоятельная работа	38
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 разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
Ф	Ф	Ф	Ф	Ф	
Введение в релятивистскую высокочастотную электронику. Качественная теория релятивистских источников с инерционной группировкой частиц.	6	2	2	4	2
СВЧ приборы, основанные на черенковском механизме индуцированного изучения электронных потоков	8	2	2	4	4
СВЧ приборы, основанные на циклотронном механизме индуцированного изучения электронных потоков	8	2	2	4	4
СВЧ приборы, основанные на ондуляторном механизме индуцированного изучения электронных потоков	8	2	2	4	4
ЛБВ и линейные ускорители	10	2	2	4	6
Принципы организации обратной связи	10	2	2	4	6
Многочастотные процессы в электронных генераторах	10	2	2	4	6
Генерация ультракоротких импульсов на основе эффектов сверхизлучения	10	2	2	4	6
Аттестация	36				
КСР	2			2	
Итого	108	16	16	34	38

Содержание разделов и тем дисциплины

Введение в релятивистскую высокочастотную электронику. Качественная теория релятивистских источников с инерционной группировкой частиц.

СВЧ приборы, основанные на черенковском механизме индуцированного изучения электронных потоков

СВЧ приборы, основанные на циклотронном механизме индуцированного изучения электронных потоков

СВЧ приборы, основанные на ондуляторном механизме индуцированного изучения электронных потоков

ЛБВ и линейные ускорители

Принципы организации обратной связи

Многочастотные процессы в электронных генераторах

Генерация ультракоротких импульсов на основе эффектов сверхизлучения

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

а) основная литература:

- 1) А.Л.А. Вайнштейн, В. А Солнцев Лекции по сверхвысокочастотной электронике. М.: «Сов. радио», 1973. – 40 экз.
- 2) Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков [Электронный ресурс] / Трубецков Д.И., Храмов А.Е. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922102001.html> .
- 3) Линейные индукционные ускорители для релятивистских СВЧ-приборов [Электронный ресурс] / Винтизенко И.И. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2012. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922113786.html>

б) дополнительная литература:

- 1) Месяц Г.А. Генерирование мощных наносекундных импульсов. М.: Сов.радио, 1974. 256 с. -3 экз
- 2) В. Гапонов-Грехов, М.И. Петелин Релятивистская высокочастотная электроника. // Вестник АН СССР, 1979, №4, с. 11-23.
- 3) Высокочастотная релятивистская электроника. Сб.научных.трудов. Под ред. А.В.Гапонова-Грехова. Горький: ИПФ АН СССР, 1979. Вып. 2-7, 1981-1991. – 4 экз.
- 4) Гиротроны. Сб.научных.трудов. Под ред. А.В.Гапонова-Грехова. Горький: ИПФ АН СССР, 1981. (Деканат ВШОПФ) – 10 экз.

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

- 1) Сборники «Релятивистская высокочастотная электроника» <http://www.iapras.ru/biblio/b1r.html>
- 2) Козырев Е. В. Электронные приборы СВЧ: Учебное пособие / Новосиб. гос. ун-т. Новоси-бирск, 2010. <http://www.inp.nsk.su/students/radio/2010/L-1final.pdf>

3) Винокуров Н. А. Лазеры на свободных электронах.

http://www.inp.nsk.su/students/radio/courses/electron/FEL_lections_Vinokurov.pdf

4) Lectures at the JOINT US-CERN-Japan Accelerator School, Japan, 1996.

<http://www.inp.nsk.su/students/radio/lectures/CAS/CAS.shtml>

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

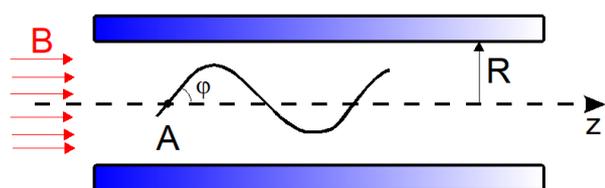
5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

1. Вывести формулу для замедления в релятивистском приближении. Получить приближенную формулу

путем разложения в ряд по параметру ξ_0^{-1} , где $\xi_0 = \frac{C}{\sqrt{2\eta U}}$.

2. Показать, что вращение электрона в магнитном поле происходит против часовой стрелки, если смотреть со стороны B .

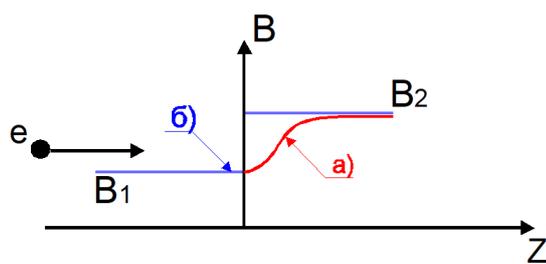
3.



Через точку A на оси металлической трубки радиуса $R=8$ см пролетает электрон под углом $\varphi=45^\circ$ к оси. Трубка помещена в однородное магнитное поле $B=300$ Гс, направленное вдоль её оси. Определить потенциал стенки трубки относительно катода, при котором электроны попадают на стенку.

4. Электрон вращается в магнитном поле $B=2 \cdot 10^5$ Гс по окружности радиуса $R=2$ см. Найти частоту вращения и энергию (в кэВ) электрона.

5.



Электрон с радиусом R_0 инжектируется вдоль силовой линии магнитного поля в однородное поле B_1 и затем попадает в однородное поле $B_2 > B_1$. Найти положение ведущего центра и скорость вращения электрона в поле B_2 . Рассмотреть два случая:

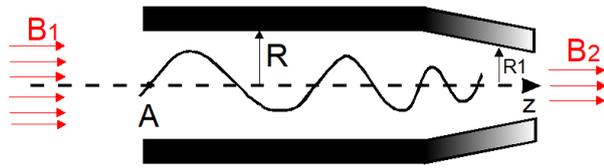
а) на участке от B_1 до B_2 поле меняется адиабатически;

б) поле меняется скачком от B_1 до B_2 .

6. Показать эквивалентность условий сохранения поперечного адиабатического инварианта, потока магнитной индукции через ларморовскую окружность и магнитного момента элементарного кругового тока, образованного электроном, вращающимся по ларморовской окружности.

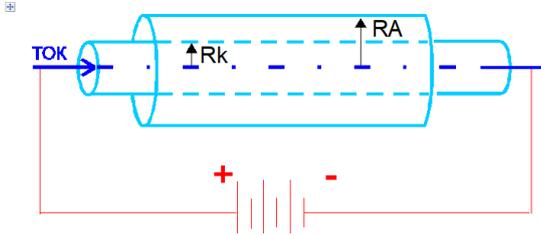
5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

7.



Металлическую трубку из задачи 3 предполагается сузить до радиуса R_1 , а для исключения попадания электрона на трубку - увеличить в суженной части магнитное поле. Вычислить $B_{2,min}$ для $R_1 = 0.5$ см. Существует ли предел сужения трубки?

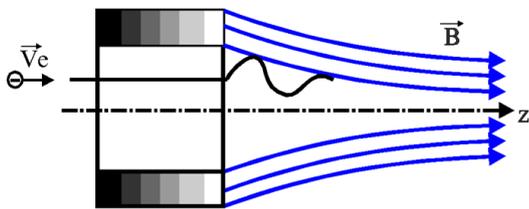
8.



Ток накала цилиндрического диода создает магнитное поле, отклоняющее электроны. Найти величину тока накала, достаточную для отсечки анодного тока ($U_a = 80$ В, $R_a = 3.5$ см, $R_k = 1.8$ мм).

9. Рассчитать, не пользуясь теоремой Буша, параболу критического режима плоского магнетрона.

10.



Электрон через отверстие в магнитном экране влетает в магнитное поле, однородное на достаточном удалении от экрана. Слева от экрана магнитное поле отсутствует. Определить угловую скорость электрона в области однородного магнитного поля справа от экрана.

11. Электродинамическая система релятивистской черенковской ЛБВ W-диапазона выполнена в виде цилиндрического волновода со средним диаметром 5 мм и периодом гофрировки 6 мм. Какой должна быть энергия электронного пучка, запитывающего эту ЛБВ, если ее рабочая частота составляет 75 ГГц?

12. Релятивистская черенковский генератор запитывается электронным пучком с энергией 300 кэВ, а в качестве его электродинамической системы используется гофрированный цилиндрический волновод со средним диаметром 1 см. Какой должен быть период гофрировки этой замедляющей системы, чтобы данный генератор работал в режиме ЛОВ в Ка-диапазоне (рабочая частота 38 ГГц)?

13. МСЭ Ка-диапазона запитывается электронным пучком с энергией 1 МэВ. Диаметр его электродинамической системы составляет 2 см, а в качестве рабочей волны, взаимодействующей с электронным пучком, используется низшая волна $TE_{1,1}$ - типа. Раскачка баунс-колебаний электронов в этом МСЭ происходит в ондуляторе с периодом 6 см. Какова величина поперечной скорости электронов, приобретаемой в этом ондуляторе, если рабочая частота МСЭ составляет 30 ГГц?

14. Брэгговский резонатор для МСЭ Ка-диапазона выполнен в виде цилиндрического волновода диаметром 2 см с неглубокой осесимметричной гофрировкой. Какой должен быть период этой гофрировки, чтобы обеспечить отражение рабочей волны МСЭ $TE_{1,1}$ - типа во встречную волну того же ($TE_{1,1}$) типа на частоте 30 ГГц? На какой частоте при этом будет реализовываться отражение рабочей волны в более высокую волну обратной связи $TM_{1,1}$ - типа?

15. В МЦР-усилителе используется электронный пучок с энергией 500 кэВ и поперечной скоростью $\beta_{osc} \approx 0.3$. Величина продольного магнитного поля составляет 0.7 Тл. На каких частотах будет иметь место

усиление в данном МЦР, если в качестве его электродинамической системы используется цилиндрический волновод диаметром 2 см?

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
плохо	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки. Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от

Оценка	Критерии оценивания
	ответа.

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения 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. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. 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 оценивания 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».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «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».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

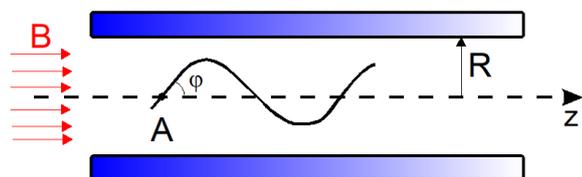
5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Вывести формулу для замедления в релятивистском приближении. Получить приближенную формулу

путем разложения в ряд по параметру ξ_0^{-1} , где $\xi_0 = \frac{c}{\sqrt{2\eta U}}$.

2. Показать, что вращение электрона в магнитном поле происходит против часовой стрелки, если смотреть со стороны \mathbf{B} .

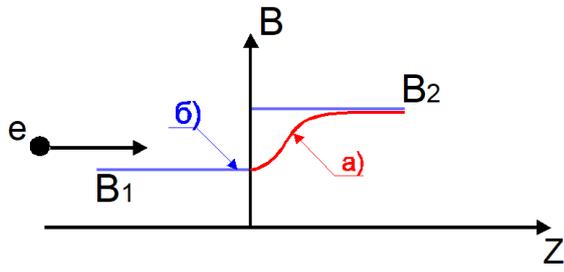
3.



Через точку A на оси металлической трубки радиуса $R=8$ см пролетает электрон под углом $\varphi=45^\circ$ к оси. Трубка помещена в однородное магнитное поле $\mathbf{B}=300$ Гс, направленное вдоль её оси. Определить потенциал стенки трубки относительно катода, при котором электроны попадают на стенку.

4. Электрон вращается в магнитном поле $B=2 \cdot 10^5$ Гс по окружности радиуса $R=2$ см. Найти частоту вращения и энергию (в кэВ) электрона.

5.



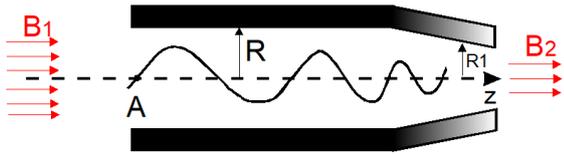
Электрон с радиусом R_0 инжектируется вдоль силовой линии магнитного поля в однородное поле B_1 и затем попадает в однородное поле $B_2 > B_1$. Найти положение ведущего центра и скорость вращения электрона в поле B_2 . Рассмотреть два случая:

- а) на участке от B_1 до B_2 поле меняется адиабатически;
- б) поле меняется скачком от B_1 до B_2 .

6. Показать эквивалентность условий сохранения поперечного адиабатического инварианта, потока магнитной индукции через ларморовскую окружность и магнитного момента элементарного кругового тока, образованного электроном, вращающимся по ларморовской окружности.

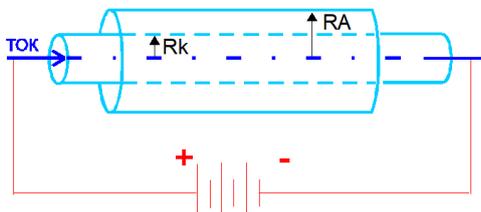
5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-3

7.



Металлическую трубку из задачи 3 предполагается сузить до радиуса R_1 , а для исключения попадания электрона на трубку - увеличить в суженной части магнитное поле. Вычислить $B_{2,min}$ для $R_1 = 0.5$ см. Существует ли предел сужения трубки?

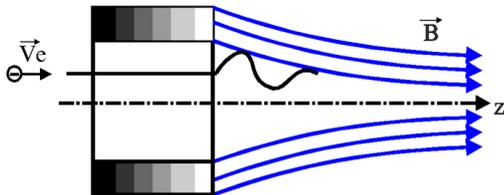
8.



Ток накала цилиндрического диода создает магнитное поле, отклоняющее электроны. Найти величину тока накала, достаточную для отсечки анодного тока ($U_a = 80$ В, $R_a = 3.5$ см, $R_k = 1.8$ мм).

9. Рассчитать, не пользуясь теоремой Буша, параболу критического режима плоского магнетрона.

10.



Электрон через отверстие в магнитном экране влетает в магнитное поле, однородное на достаточном удалении от экрана. Слева от экрана магнитное поле отсутствует. Определить угловую скорость электрона в области однородного магнитного поля справа от экрана.

11. Электродинамическая система релятивистской черенковской ЛБВ W-диапазона выполнена в виде цилиндрического волновода со средним диаметром 5 мм и периодом гофрировки 6 мм. Какой должна быть энергия электронного пучка, запитывающего эту ЛБВ, если ее рабочая частота составляет 75 ГГц?

12. Релятивистская черенковский генератор запитывается электронным пучком с энергией 300 кэВ, а в качестве его электродинамической системы используется гофрированный цилиндрический волновод со

средним диаметром 1 см. Какой должен быть период гофрировки этой замедляющей системы, чтобы данный генератор работал в режиме ЛОВ в Ка-диапазоне (рабочая частота 38 ГГц)?

13. МСЭ Ка-диапазона запитывается электронным пучком с энергией 1 МэВ. Диаметр его электродинамической системы составляет 2 см, а в качестве рабочей волны, взаимодействующей с электронным пучком, используется низшая волна $TE_{1,1}$ - типа. Раскачка баунс-колебаний электронов в этом МСЭ происходит в ондуляторе с периодом 6 см. Какова величина поперечной скорости электронов, приобретаемой в этом ондуляторе, если рабочая частота МСЭ составляет 30 ГГц?

14. Брэгговский резонатор для МСЭ Ка-диапазона выполнен в виде цилиндрического волновода диаметром 2 см с неглубокой осесимметричной гофрировкой. Какой должен быть период этой гофрировки, чтобы обеспечить отражение рабочей волны МСЭ $TE_{1,1}$ - типа во встречную волну того же ($TE_{1,1}$) типа на частоте 30 ГГц? На какой частоте при этом будет реализовываться отражение рабочей волны в более высокую волну обратной связи $TM_{1,1}$ - типа?

15. В МЦР-усилителе используется электронный пучок с энергией 500 кэВ и поперечной скоростью $\beta_{осц} \approx 0.3$. Величина продольного магнитного поля составляет 0.7 Тл. На каких частотах будет иметь место усиление в данном МЦР, если в качестве его электродинамической системы используется цилиндрический волновод диаметром 2 см?

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.

Оценка	Критерии оценивания
	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

- 1 Резонанс как условие распределенного синхронного взаимодействия.
- 2 Оценки КПД и области оптимальных параметров, на основе анализа условий синхронизма.
- 3 СВЧ приборы, основанные на черенковском механизме индуцированного излучения электронных потоков (ЛБВ, ЛОВ).
- 4 Дисперсионное уравнение ЛБВ.
- 5 Вывод самосогласованной системы уравнений ЛБВ
- 6 Генератор типа лампы обратной волны (нелинейные уравнения).
- 7 СВЧ приборы, основанные на циклотронном механизме индуцированного излучения электронных потоков (МЦР, гиротрон).
- 8 Уравнения движения частиц в гиротроне (уравнение неизохронного осциллятора).
- 9 Нормальный и аномальный эффект Доплера.
- 10 Линейная теория МЦР (дисперсионное уравнение и его анализ).
- 11 Эффект авторезонанса при движении частиц в однородном магнитном поле.
- 12 Генераторы, основанные на ондуляторном механизме индуцированного излучения электронных потоков и вынужденном рассеянии волн (лазеры на свободных электронах).
- 13 Усредненная пондеромоторная сила. Вывод нелинейных уравнений ЛСЭ

- 14 Высокочастотный пространственный заряд (режимы взаимодействия на волнах пространственного заряда и частицах).
- 15 Абсолютная и конвективная неустойчивость. Основные типы электронных генераторов и усилителей.
- 16 Резонансный генератор (нелинейные уравнения одномодового режима генерации, стартовые токи).
- 17 Механизм повышения КПД на основе использования режима обращенного линейного ускорителя.
- 18 Конкуренция мод в генераторах с высокодобротными резонаторами.
- 19 Генерация ультракоротких импульсов на основе эффектов сверхизлучения.
- 20 Солитоны и эффекты самоиндуцированной прозрачности при распространении электромагнитных импульсов в магнитоуправляемых электронных потоках

5.3.4 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-3

- 1 Резонанс как условие распределенного синхронного взаимодействия.
- 2 Оценки КПД и области оптимальных параметров, на основе анализа условий синхронизма.
- 3 СВЧ приборы, основанные на черенковском механизме индуцированного излучения электронных потоков (ЛБВ, ЛОВ).
- 4 Дисперсионное уравнение ЛБВ.
- 5 Вывод самосогласованной системы уравнений ЛБВ
- 6 Генератор типа лампы обратной волны (нелинейные уравнения).
- 7 СВЧ приборы, основанные на циклотронном механизме индуцированного излучения электронных потоков (МЦР, гиротрон).
- 8 Уравнения движения частиц в гиротроне (уравнение неизохронного осциллятора).
- 9 Нормальный и аномальный эффект Доплера.
- 10 Линейная теория МЦР (дисперсионное уравнение и его анализ).
- 11 Эффект авторезонанса при движении частиц в однородном магнитном поле.
- 12 Генераторы, основанные на ондуляторном механизме индуцированного излучения электронных потоков и вынужденном рассеянии волн (лазеры на свободных электронах).
- 13 Усредненная пондеромоторная сила. Вывод нелинейных уравнений ЛСЭ

- 14 Высокочастотный пространственный заряд (режимы взаимодействия на волнах пространственного заряда и частицах).
- 15 Абсолютная и конвективная неустойчивость. Основные типы электронных генераторов и усилителей.
- 16 Резонансный генератор (нелинейные уравнения одномодового режима генерации, стартовые токи).
- 17 Механизм повышения КПД на основе использования режима обращенного линейного ускорителя.
- 18 Конкуренция мод в генераторах с высокочастотными резонаторами.
- 19 Генерация ультракоротких импульсов на основе эффектов сверхизлучения.
- 20 Солитоны и эффекты самоиндуцированной прозрачности при распространении электромагнитных импульсов в магнитоуправляемых электронных потоках

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с

Оценка	Критерии оценивания
	некоторыми недочетами.
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

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

Основная литература:

1. Вайнштейн Лев Альбертович. Лекции по сверхвысокочастотной электронике. - М. : Советское радио, 1973. - 399 с. : черт. - 1.91., 56 экз.
2. Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков / Трубецков Д.И., Храмов А.Е. - Москва : Физматлит, 2004., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=634816&idb=0>.
3. Линейные индукционные ускорители для релятивистских СВЧ-приборов / Винтизенко И.И. - Москва : Физматлит, 2012., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=646835&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Месяц Геннадий Андреевич. Генерирование мощных наносекундных импульсов. - М. : Советское радио, 1974. - 256 с. : ил. - 0.93., 2 экз.
2. Релятивистская высокочастотная электроника. Вып. 5. Материалы V всесоюзного семинара (Новосибирск, 5 - 7 мая 1987 г.) / АН СССР, Ин-т приклад. физики ; [редкол.: А. В. Гапонов-Грехов (отв. ред.) и др.]. - Горький : ИПФ, 1988. - 216 с., [6] л. ил. - 1.80., 1 экз.
3. Релятивистская высокочастотная электроника. Вып. 6. Материалы VI семинара (Свердловск, 16 - 18 мая 1989 г.) / АН СССР, Ин-т приклад. физики ; [отв. ред. А. В. Гапонов-Грехов и др.]. - Горький : ИПФ, 1990. - 303, [1] с. : ил. - 2.10., 1 экз.
4. Релятивистская высокочастотная электроника. Вып. 7. Материалы VII семинара (Томск, 25 - 27 нояб. 1991 г.) / [отв. ред. А. В. Гапонов-Грехов]. - Н. Новгород : ИПФ, 1992. - 164 с. - 225.00., 1 экз.

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

- 1) Сборники «Релятивистская высокочастотная электроника»
<http://www.iapras.ru/biblio/b1r.html>
- 2) Козырев Е. В. Электронные приборы СВЧ: Учебное пособие / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2010. <http://www.inp.nsk.su/students/radio/2010/L-1final.pdf>
- 3) Винокуров Н. А. Лазеры на свободных электронах.
http://www.inp.nsk.su/students/radio/courses/electron/FEL_lections_Vinokurov.pdf
- 4) Lectures at the JOINT US-CERN-Japan Accelerator School, Japan, 1996.
<http://www.inp.nsk.su/students/radio/lectures/CAS/CAS.shtml>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

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 по направлению подготовки 03.04.02 - Физика.

Автор(ы): Гинзбург Наум Самуилович, доктор физико-математических наук, профессор.

Заведующий кафедрой: Викторов Михаил Евгеньевич, кандидат физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 07.02.2024, протокол № 4.