

**Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики
Российской академии наук» (ИПФ РАН)**

УТВЕРЖДАЮ:

Зам. директора по научной работе

_____ М.Ю. Глявин

« ____ » _____ 20__ г.

Рабочая программа дисциплины

Современные ускорители заряженных частиц

Уровень высшего образования
Подготовка кадров высшей квалификации

Направление подготовки / специальность
03.06.01 Физика и астрономия,

Направленность образовательной программы
01.04.03 Радиофизика

Квалификация (степень)
Исследователь. Преподаватель-исследователь.

Форма обучения
очная

Нижний Новгород

20__

1. Место и цели дисциплины в структуре образовательной программы (ОП)

Дисциплина «Современные ускорители заряженных частиц» относится к числу профильных дисциплин вариативной части образовательной программы, является дисциплиной по выбору аспиранта, преподается на втором году обучения в четвертом семестре.

Целями освоения дисциплины являются:

- формирование у аспирантов современного представления об основах ускорительной физики;
- ознакомление аспирантов с практическими применениями современных ускорителей;
- формирование у аспирантов профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» и направленностью подготовки 01.04.03 «Радиофизика»

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Таблица 1:

Планируемые результаты обучения по дисциплине

Код и этап формируемой компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-2 <i>способность проводить научные исследования и решать научно-исследовательские задачи, соответствующие направленности подготовки, используя специализированные знания в области физики и астрономии, современные методы исследований и информационные технологии, с учетом отечественного и зарубежного опыта</i> (этап освоения – базовый)	<i>З1 (ПК-2) Знать основы физики кольцевых и линейных ускорителей; классификацию ускорителей и области их применения; динамику продольного и поперечного движения частицы в поле ускоряющей волны; условия автофазировки и устойчивости сгустков частиц; методы фокусировки релятивистских частиц; основные характеристики ускоряющих систем; свойства сверхпроводящих и обычных линейных ускорительных структур.</i> <i>У1 (ПК-2) Уметь пользоваться формулами для расчета параметров ускорения заряженных частиц в ускорителях.</i> <i>В1 (ПК-2) Владеть методами описания движения частиц в ускоряющем, фокусирующем и ондуляторном полях</i>
ПК-3 <i>способность свободно ориентироваться в разделах физики, необходимых для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности (в соответствии с направленностью подготовки)</i> (этап освоения – базовый)	<i>З1 (ПК-3) Знать особенности сверхпроводящих материалов, используемых в ускорителях; конструкцию основных систем сверхпроводящих линейных ускорителей и ускорителей, работающих при комнатной температуре; эффекты, ограничивающие темп ускорения; конструкцию и принципы действия источников релятивистских электронных сгустков; методы охлаждения релятивистских сгустков.</i> <i>У1 (ПК-3) Уметь свободно применять полученные знания по физике ускорителей для решения научно-инновационных задач, связанных с созданием пучков частиц, применяемых в физике высоких энергий, физике источников излучения, физике плазмы и других разделах науки и техники.</i> <i>В1 (ПК-3) Владеть методами описания работы кольцевых и линейных ускорителей.</i>

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов, из которых 38 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (36 часов занятия лекционного типа, в т.ч. мероприятия текущего контроля успеваемости, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 70 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Структура дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	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	Занятия лабораторного типа	Всего	
Тема 1. Геометрическая оптика плавно неоднородных сред	20	6			6	14
Тема 2. Пространственно–временная геометрическая оптика	20	6			6	14
Тема 3. Распространение волновых пучков в плавно неоднородных средах	22	8			8	14
Тема 4. Распространение волновых пакетов в плавно неоднородных диспергирующих средах	22	8			8	14
Тема 5. Квазиоптика нелинейных сред	22	8			8	14
в т.ч. текущий контроль			4			
промежуточная аттестация - Зачет					2	
Итого		108				

Содержание разделов дисциплины

Принципы ускорения. Типы и характеристики ускорителей на высокие энергии частиц.

Области применения и краткая история создания ускорителей высоких энергий. Принципы ускорения. Типы ускорителей. Ускорители прямого действия (Кокрофта-Уолтона, Ван де Граафа, Маркса). Циклотрон. Бетатрон. Синхротрон. Линейный индукционный ускоритель. Линейный ускоритель Видероз. Линейные СВЧ ускорители.

Электронная оптика ускорителей.

Принцип автофазировки. Продольный эмиттанс пучка. Бетатронные колебания пучка. Бета-функция пучка. Поперечный эмиттанс пучка. Аксептанс. Мягкая и жесткая фокусировка в статических магнитных полях. Расчет фокусирующих систем.

Собственные моды и основные параметры линейных ускоряющих СВЧ структур. Системы питания линейных ускорителей.

Основные параметры линейных СВЧ ускоряющих структур. Градиент, поверхностные поля, шунтовое сопротивление, добротность структуры, эффективность ускорения. Ускоряющая мода и дипольная мода в pill-box резонаторе. Собственные моды полых металлических ускоряющих структур. Теорема Флоке для полей систем с аксиально-симметричной гофрировкой. Ускоряющая мода. Гибридные несимметричные моды. Кильватерные поля. Методы селекции мод.

Сверхпроводящие ускоряющие структуры.

Эффект Мейсснера. Критическая температура и магнитное поле. Сверхпроводники 1-ого и 2-ого рода. Понятия о теории БКШ и феноменологической теории Гинзбурга-Ландау. Остаточное сопротивление и его зависимость от частоты поля. Материалы для

изготовления структур. Проблемы расчета и оптимизации сверхпроводящих структур. Особенности сверхпроводящих ускоряющих резонаторов. Устройства ввода СВЧ мощности и дискриминации паразитных мод.

Эффекты, ограничивающие темп ускорения в «теплых» и «холодных» структурах. Полевая эмиссия и ток Фаулера-Нордгейма. Стадии поверхностного пробоя в вакууме, Критерии возникновения пробоя. Темновой ток. Мультипакторный разряд. Импульсный нагрев. Сдвиг частоты в сверхпроводящего резонатора из-за силы Лоренца и пондермоторной силы. Микрофонный эффект.

Формирование электронных сгустков и их охлаждение.

Формирование электронных сгустков. Типы инжекторов электронов. Фотоинжекторы. Охлаждение релятивистских сгустков частиц (радиационное охлаждение, электронное охлаждение, стохастическое СВЧ и лазерное охлаждение). Манипулирование эмиттантами сгустка.

4. Образовательные технологии

Основными видами образовательных технологий дисциплины «Современные ускорители заряженных частиц» являются занятия лекционного типа с применением технологий интерактивного обучения (презентаций), проблемный метод изложения материала, диалоговая форма проведения занятий и самостоятельная работа аспиранта.

5. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

Используются следующие виды самостоятельной работы аспиранта: в читальном зале библиотеки ИПФ РАН, в компьютерном классе с доступом к ресурсам Интернет и в домашних условиях. Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется в ходе аудиторных занятий по данной дисциплине. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, доступные ресурсы в Интернет по тематике курса, а также конспекты и презентации лекций.

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), и уровня их сформированности

Описание показателей и критериев оценивания компетенций приведены в приложении 1.

6.2. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине.

Описание шкал оценивания

Для оценивания сформированности компетенций используется промежуточная аттестация в форме зачета. Зачет состоит из индивидуального собеседования и решения практических контрольных заданий. Критерии оценок выполнения задания:

Зачтено	В целом удовлетворительная подготовка, возможно с заметными, но не грубыми ошибками или недочетами. Аспирант дает полный ответ на все теоретические вопросы собеседования, возможно с небольшими неточностями; допускаются негрубые ошибки при ответах на дополнительные вопросы. Полученные ответы отличаются логической последовательностью, достаточной четкостью в выражении мыслей, возможно с не всегда полной обоснованностью выводов.
Не зачтено	Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Аспирант дает ошибочные ответы как на теоретические вопросы, так и на наводящие и дополнительные вопросы преподавателя, что говорит о недостатке знаний по общефизическим и профессиональным дисциплинам, отсутствии умения применять на практике приобретенные навыки.

6.3. Контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций.

Вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

Для оценки сформированности профессиональных компетенций ПК-2, ПК-3:

- 1) Ускорители прямого действия. Проблемы.
- 2) Принципы работы генератора Ван де Граафа, ускорителя Кокрофта-Уолтона и генератора Маркса.
- 3) Принципы действия кольцевых ускорителей (циклотрон, бетатрон и синхротрон).
- 4) Принцип действия линейного индукционного ускорителя.
- 5) Принципы ускорения в линейных СВЧ структурах.
- 6) Принцип автофазировки.
- 7) Какие свойства пучка характеризуют поперечные и продольные эмиттансы?
- 8) Что такое бетатронные колебания пучка и бета-функция пучка?
- 9) Чем различаются мягкая и жесткая фокусировка в статических магнитных полях?
- 10) Ускоряющая и дипольная моды pill-box резонатора.
- 11) Основные параметры линейных ускоряющих структур (градиент, поверхностные поля, шунтовое сопротивление).
- 12) Собственные моды полых металлических линейных ускоряющих структур.
- 13) Кильватерные поля в ускоряющих структурах. Методы борьбы и использование.
- 14) Особенности сверхпроводящих ускоряющих структур. Достоинства и недостатки по сравнению с «теплыми» структурами.
- 15) Сверхпроводники 1-ого и 2-ого рода. Поверхностное сопротивление и причины существования остаточного сопротивления.
- 16) Эффекты, ограничивающие ускорение в сверхпроводящих структурах (тепловой пробой и сдвиг частоты под действием пондермоторной силы).
- 17) Эффекты, ограничивающие темп ускорения в «теплых» структурах (пристеночный пробой, импульсный нагрев, мультипакторный разряд, темновой ток).
- 18) Сравните компрессоры СВЧ импульсов SLED и SLED-II.
- 19) В чем преимущество активной компрессии СВЧ импульсов перед пассивной компрессией?
- 20) В чем состоят преимущества и недостатки фотоинжекторов со сверхпроводящими и обычными резонаторами?
- 21) Методы охлаждения сгустков релятивистских частиц.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Пашков П.Т. Физика пучка в кольцевых ускорителях. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 3 экз.
2. И.М.Тернов, В.В.Михайлин, В.Р.Халилов. Синхротронное излучение и его применение. М.: Изд-во МГУ, 1980, 1985. -264 стр. – 3 экз.
3. Дж.Лоусон. Физика пучков заряженных частиц. М.: Мир , 1980. -439 стр. – 4 экз.

б) дополнительная литература:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. В 10 т. М.: Наука. Т.7: Электродинамика сплошных сред – 4 экз.

2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. В 10 т. М.: Наука. Т. 10: Физическая кинетика. – 4 экз.
3. Кузиков С. В. Квазиоптические методы управления пространственно-временной структурой мощного микроволнового излучения. ИПФ РАН, 459 с.
<http://www.appl.sci-nnov.ru/training/img/dis/Kyzikov.pdf>,
4. Арцимович Л.А., Лукьянов С.Ю. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях, Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1972, 1978, 228 стр. – 1 экз.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. <http://cas.web.cern.ch/cas/Greece-2011/Lectures/Jensen.pdf> The CERN Accelerator School

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- Специальные помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет";
- Лицензионное программное обеспечение (*Windows, Microsoft Office*);
- Обучающиеся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья обеспечиваются (при необходимости) электронными и (или) печатными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия, направленность 01.04.03 Радиофизика.

Автор _____ С.В. Кузиков

Ответственный за направление подготовки _____ Вл.В. Кочаровский

Рецензент _____

Программа принята на заседании Ученого совета Отделения физики плазмы и электроники больших мощностей ИПФ РАН, протокол № ____ от _____ года.

Ученый секретарь ОФПиЭБМ _____ О.С. Моченева

Программа принята на заседании Ученого совета отделения геофизических исследований и Центра гидроакустики ИПФ РАН, протокол № ____ от _____ года.

Ученый секретарь ОГИиЦГ _____ М.В. Шаталина

Программа принята на заседании Ученого совета отделения нелинейной динамики и оптики ИПФ РАН, протокол № ____ от _____ года.

Ученый секретарь ОНДиО _____ А.В. Коржиманов

Карты компетенций, в формировании которых участвует дисциплина

ПК-2: Способность проводить научные исследования и решать научно-исследовательские задачи, соответствующие направленности подготовки, используя специализированные знания в области физики и астрономии, современные методы исследований и информационные технологии, с учетом отечественного и зарубежного опыта

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания результатов обучения	
	Зачтено	Не зачтено
<u>Знания:</u> Знать основы физики кольцевых и линейных ускорителей; классификацию ускорителей и области их применения; динамику продольного и поперечного движения частицы в поле ускоряющей волны; условия авто-фазировки и устойчивости сгустков частиц; методы фокусировки релятивистских частиц; основные характеристики ускоряющих систем; свойства сверхпроводящих и обычных линейных ускорительных структур	Успешная демонстрация знаний по базовым разделам дисциплины	Отсутствие знаний или фрагментарные знания без положительного результата применения
<u>Умения:</u> Уметь пользоваться формулами для расчета параметров ускорения заряженных частиц в ускорителях	Успешная демонстрация умений по базовым разделам дисциплины	Отсутствие умений или фрагментарное присутствие умений без положительного результата
<u>Навыки:</u> Владеть методами описания движения частиц в ускоряющем, фокусирующем и одулятором полях	Успешная демонстрация навыков решения задач на базе полученных в ходе освоения дисциплины знаниях	Отсутствие навыков или фрагментарные навыки без положительного результата применения
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	50 – 100%	0 – 50 %

ПК-3: Способность свободно ориентироваться в разделах физики, необходимых для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности (в соответствии с направленностью подготовки)

Индикаторы компетенций	Критерии оценивания результатов обучения	
	Зачтено	Не зачтено
<u>Знания:</u> Знать особенности сверхпроводящих материалов, используемых в ускорителях; конструкцию основных систем сверхпроводящих линейных ускорителей и ускорителей, работающих при комнатной температуре; эффекты, ограничивающие темп ускорения; конструкцию и принципы действия источников релятивистских электронных сгустков; методы охлаждения релятивистских сгустков	Успешная демонстрация знаний по базовым разделам дисциплины	Отсутствие знаний или фрагментарные знания без положительного результата применения
<u>Умения:</u> Уметь свободно применять полученные знания по физике ускорителей для решения научно-инновационных задач, связанных с созданием пучков частиц, применяемых в физике высоких энергий, физике источников излучения, физике плазмы и других разделах науки и техники	Успешная демонстрация умений по базовым разделам дисциплины	Отсутствие умений или фрагментарное присутствие умений без положительного результата
<u>Навыки:</u> Владеть методами описания работы кольцевых и линейных ускорителей	Успешная демонстрация навыков решения задач на базе полученных в ходе освоения дисциплины знаниях	Отсутствие навыков или фрагментарные навыки без положительного результата применения
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	50 – 100%	0 – 50 %