

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет
Кафедра физики плазмы**



Рабочая программа дисциплины

МОЩНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ И ИОННЫЕ ПУЧКИ

направление подготовки: **03.04.02 Физика**
направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения
Очная

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	72	16	16		18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётных единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
Компетенции ПК-1										

Руководитель программы

И. Б. Логашенко

д.ф.-м.н.

Новосибирск, 2022

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.	3
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.	5
5. Перечень учебной литературы.	7
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	7
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	8
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	8
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	8
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	9

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Дисциплина (курс) «Мощные электронные и ионные пучки» имеет своей целью ознакомление студентов с основными принципами генерации и транспортировки мощных пучков заряженных частиц, устройствами для их реализации и теоретическими моделями для описания процессов, происходящих во время генерации и транспортировки. В частности, обсуждаются вопросы, касающиеся различных способов измерения параметров мощных импульсных электронных и ионных пучков, а также основные применения этих пучков в технике и научных исследованиях. Курс должен служить основой для подготовки специалистов в области физики плазмы, а также физики мощных пучков заряженных частиц.

Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<p>ПК-1 Способен использовать специализированные знания в области физики при решении поставленных задач в научно-исследовательской деятельности в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p>ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p> <p>ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p>Знать методы и способы постановки и решения задач физических исследований в области физики плазмы и мощных электронных и ионных пучков, возможности, методы и системы компьютерных технологий для физических теоретических и экспериментальных исследований.</p> <p>Уметь применять изученные модели и методы для нахождения решения простых задач по физике мощных электронных и ионных пучков.</p> <p>Владеть навыками самостоятельной работы с учебной литературой по физике пучков; основной терминологией и понятийным аппаратом физики пучков; методами вычисления свойств пучков по заданным основным параметрам.</p>

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Мощные электронные и ионные пучки» реализуется в осеннем семестре 2-го курса для магистрантов, обучающихся по направлению подготовки 03.04.02 Физика. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой физики плазмы. Для успешного освоения курса необходимо знание основ электродинамики, физики

сплошных сред, а также высшей математики, а именно: линейной алгебры, математического анализа, теории функций комплексной переменной, методов математической физики, также необходимо умение применять эти знания при решении задач. Необходимость владения указанными математическими компетенциями обусловлена тем обстоятельством, что они составляют основу математических моделей, применяемых в курсе «Мощные электронные и ионные пучки». Первая часть курса, посвященная применению сильноточных пучков заряженных частиц, содержит обзор примеров использования пучков в различных областях физики плазмы и вакуумной электроники и основывается на знаниях, полученных студентами кафедры физики плазмы после изучения специальных курсов «Инженерно-физические основы УТС», а также «Физика открытых ловушек». Вторая часть курса содержит описание принципов действия различных схем и устройств, предназначенных для формирования импульсов высокого напряжения и тока. Ее освоение требует знаний, приобретенных студентами при прохождении общефизических курсов «Электричество и магнетизм», «Электродинамика и оптика», а также «Радиоэлектроника». Третья часть курса посвящена изучению различных типов ускорительных диодов для генерации мощных электронных и ионных пучков. Она базируется на знаниях студентов, полученных преимущественно в общефизическом курсе «Электричество и магнетизм». Четвертая часть содержит описание примеров диагностик для измерения основных параметров и характеристик сильноточных пучков заряженных частиц, она основывается на учебном материале, изложенном в специальных курсах «Экспериментальные методы исследования плазмы, ч.1, ч.2». Последняя часть курса содержит изложение основных принципов и моделей для описания транспортировки интенсивных пучков заряженных частиц в условиях устойчивого равновесия, она предполагает обладание знаниями и навыками, полученными в результате изучения общефизического курса «Физика сплошных сред», а также специального курса «Коллективные явления в плазме». Курс предшествует выполнению квалификационной работы студента по данной специализации, так как дает ему необходимые знания, навыки и предоставляет инструменты для выполнения научных исследований в рамках подготовки его квалификационной работы.

3. Трудоемкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	72	16	16		18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
Компетенции ПК-1										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, практиче-

ские занятия, консультации, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью заданий, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: контроль посещения лекций, опрос по материалам лекций, решение задач из задания для самостоятельного решения.
- промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 16 часов;
- практические занятия – 16 часов;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 18 часов;
- промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена, консультации и экзамен) – 22 часа;

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, групповые консультации, экзамен) составляет 36 часов.

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.

Дисциплина «Дополнительные главы теории плазмы» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 2-м курсе магистратуры физического факультета НГУ в 3-м семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)					Промежуточная аттестация (в период сессии) (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. Работа во время занятий (не включая период сессии)	Сам. Работа во время промежуточной аттестации	
				Лекции	Практические занятия			
1	2	3	4	5	6	7	8	10
1	Области применения сильноточных пучков	1-3	10	3	3	4		

2	Генерация сильноточных пучков	4-9	16	6	6	4		
3	Диагностика сильноточных пучков	10-13	12	4	4	4		
4	Транспортировка сильноточных пучков	14-16	12	3	3	6		
5	Групповая консультация		2					2
6	Подготовка к экзамену	17	18				18	
7	Экзамен	17	4					2
Всего			72	16	16	18	18	4

Программа и основное содержание лекций (16 часов)

Области применения сильноточных пучков (3 часа)

1. Области применения сильноточных пучков и требования к пучкам, вытекающие из характера их использования, генерация гамма излучения.
2. Драйверы для инерциального синтеза, обжиг Д-Т мишеней.

Генерация сильноточных пучков (6 часов)

1. Электростатические накопители (конденсаторы). Магнитные (индуктивные) накопители. Одиночная и двойная формирующие линии. Оптимизация геометрий ОФЛ и ДФЛ.
2. Индукционные ускорители. Принцип работы и блок-схема. Пространственное распределение ускоряющего поля.
3. Генерация мощных ионных пучков. Схемы генерации мощных ионных пучков.
4. Численное моделирование и эксперименты по самофокусировке электронного пучка в диодах с большим соотношением.

Диагностика сильноточных пучков (4 часа)

1. Диагностика сильноточных РЭП. Регистрация мегавольтного напряжения.
2. Датчики тока и локальной плотности тока. Диагностика углового разброса электронов.

Транспортировка сильноточных пучков (3 часа)

1. Транспортировка сильноточных импульсных РЭП. Предел по собственному объемному заряду.
2. Крупномасштабные неустойчивости. Диокотронная неустойчивость. Неустойчивость Пирса.

Программа практических занятий (16 часов)

Области применения сильноточных пучков (3 часа)

1. Бесстолкновительный нагрев плазмы, генерация СВЧ-излучения. Общая схема генераторов импульсов высокого напряжения. Первичные накопители энергии.

Генерация сильноточных пучков (6 часов)

1. Ускорительные диоды для генерации сильноточных релятивистских электронных пучков. Источники электронной эмиссии.
2. Плоский диод с ведущим магнитным полем. Коаксиальный и ленточный диоды с магнитной изоляцией.
3. Биполярный режим электронного диода. Диод с магнитной самофокусировкой.

Диагностика сильноточных пучков (4 часа)

1. Измерения энергетического разброса электронов. Измерения энергозапаса в импульсном РЭП.
2. Диагностика ионных пучков.

Транспортировка сильноточных пучков (3 часа)

1. Понятие о токе Альфвена. Равновесные состояния аксиально-симметричного пучка. Равновесное состояние ленточного пучка. Мелкомасштабные неустойчивости.

Самостоятельная работа студентов (36 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	2
Изучение материала лекций	8
Решение задач	8
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

1. Сеницкий С.Л., Аржанников А.В., Мощные импульсные пучки. Новосибирск, НГУ, 2012 (5 экз)
2. Рухадзе А.А., Богданкевич Л.С., Росинский С.Е., Рухлин В.Г. Физика сильноточных релятивистских электронных пучков. М.: Атомиздат, 1980. (2 экз.)
3. Диденко А.Н., Григорьев В.П., Усов Ю.Л. Мощные электронные пучки и их применение. М.: Атомиздат, 1977.(3 экз.)

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующим учебными пособиями:

1. С.Л. Сеницкий, А.В. Аржанников. Мощные импульсные пучки. Новосибирск: НГУ, 2012.
2. Бахрушин Ю.П., Анацкий А.И. Линейные индукционные ускорители. М.: Атомиздат, 1978.
3. Быстрицкий В М., Диденко А.Н. Мощные ионные пучки. М.: Энергоиздат, 1984.
4. Humpries S.. Charged Particle Beams. ISBN 0-471-60014-8, QC786.H86. 1990.
5. Брейзман Б. Н., Рютов Д. Д., Ступаков Г. В. Теория сильноточных диодов большого радиуса. Изв. ВУЗов (физика). 1979. № 10. С. 7–26.
6. Сеницкий С. Л. Генерация и транспортировка микросекундных ленточных РЭП с энергозапасом до 50 кДж.: Дис. канд. физ.-мат. наук. Новосибирск, 1992.
7. Лебедев А. Н., Хлестков Ю. А. Сильноточные пучки заряженных частиц. М., 1983.
8. Пирс Д. Теория и расчет электронных пучков: Пер. с англ. М.: Изд-во иностр. лит. 1956.
9. Беломытцев С.Я., Пегель И.В. Физика сильноточных пучков заряженных частиц. Изд-во Томского политехнического университета. 2008.

10. Соковнин С.Ю. Мощная импульсная техника. Учебное электронное текстовое издание. Екатеринбург. 2008.
11. Блум Х. Схемотехника и применение мощных импульсных устройств. М. Издательский дом Додэка XXI, 2008.
12. А.Ф. Александров, М.В. Кузелев. Радиофизика. Физика электронных пучков и основы высокочастотной электроники. М.: КДУ, 2007, 300 с.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются.

7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

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

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется

согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Текущий контроль осуществляется путем опроса в начале каждой лекции по материалам предыдущей лекции, а также проведения коротких самостоятельных работ в начале каждого практического занятия с решением типовых задач, разобранных на предыдущем занятии.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области мощных электронных и ионных пучков в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Мощные электронные и ионные пучки».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.

				на дополнительные вопросы.	
Наличие умений	ПК 1.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	ПК 1.2	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Примеры задач для самостоятельного решения

1. Провести расчет и выбор параметров емкостного накопителя, формирующего на нагрузке 50 Ом квазипрямоугольный импульс напряжения величиной 1 МВ длительностью 100 мкс.
2. Провести выбор параметров ОФЛ и ДФЛ для формирования импульса напряжения 1 МВ на резистивной нагрузке 10 Ом длительностью 100 нс.
3. Рассчитать характерные параметры анализатора энергетического спектра электронов незамагниченного пучка с характерной энергией 1 МэВ и разрешением $\Delta E/E \sim 0,05$.
4. Найти величину максимального тока электронного пучка, транспортируемого в газе без магнитного поля при условии полной нейтрализации пучка по объемному заряду.
5. Рассчитать параметры квазиплоского диода для формирования в сильном магнитном поле цилиндрического электронного пучка с током 10 кА при напряжении 1 МВ.
6. Построить зависимость тока от величины магнитного поля в квазиплоском диоде с продольным внешним магнитным полем.

Вопросы, выносимые на экзамен

1. Емкостные накопители. Генераторы импульсного напряжения (ГИНы) по схеме Аркадьева-Маркса и Фитча.
2. Транспортировка сильноточных РЭП в вакууме. Вакуумный предел по собственному объемному заряду для круглого и ленточного пучков.

3. Магнитные накопители. Генераторы импульсных токов (ГИТы) и сильноточные размыкатели.
4. Транспортировка сильноточных РЭП в вакууме. Токи Альфвена и Лоусона.
5. Формирующие линии (ФЛ). Зарядка одинарных ФЛ от ГИНов и ГИТов.
6. Транспортировка сильноточных РЭП в вакууме. Равновесные конфигурации круглых релятивистских пучков.
7. Трансформаторная схема зарядки формирующих линий.
8. Транспортировка сильноточных РЭП в вакууме. Равновесные конфигурации ленточных пучков и их устойчивость к мелкомасштабным колебаниям.
9. Плоский и ножевой электронные ускорительные диоды в сильном магнитном поле.
10. Транспортировка мощных ионных пучков. Нагрев малых мишеней применительно к проблеме УТС.
11. Электронные диоды с магнитной изоляцией катод-анодного промежутка.
12. Пирсовская неустойчивость.
13. Диоды с магнитной самофокусировкой электронного пучка.
14. Пример конкретных применений сильноточных РЭП. Нагрев плазмы в длинном соленоиде.
15. Транспортировка сильноточных РЭП в вакууме. Токи Альфвена и Лоусона.
16. Оптимизация ДФЛ по различным критериям.
17. Электронный диод в умеренных магнитных полях.
18. Диагностика углового и энергетического разбросов сильноточных электронных пучков.
19. Ионные диоды с изоляцией внешним магнитным полем.
20. Регистрация мегавольтного напряжения. Калориметрия электронного пучка.
21. Датчики полного тока пучка. Измерения локальной плотности тока.
22. Двойные формирующие линии. Зарядка ДФЛ от ГИНов.
23. Газодинамический метод генерации ионных потоков.
24. Диагностика мощных ионных пучков.

Пример экзаменационного билета

1. Электронный диод в умеренных магнитных полях.
2. Диагностика углового и энергетического разбросов сильноточных электронных пучков.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы
по дисциплине «Мощные электронные и ионные пучки»
по направлению подготовки 03.04.02 Физика
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного