

Минобрнауки России
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт сильноточной электроники
Сибирского отделения Российской академии наук
(ИСЭ СО РАН)

УТВЕРЖДАЮ
директор ИСЭ СО РАН
академик РАН



Н. А. Ратахин Н. А. Ратахин

«24» августа 2018 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
ДИСЦИПЛИНЫ

«Численный эксперимент в сильноточной электронике»

основных профессиональных образовательных программ высшего образования —
программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре
по направлениям подготовки кадров высшей квалификации

№ п/п	Направление подготовки	Наименование ОПОП (профиль подготовки)	Место дисциплины в учебном плане
1	03.06.01 Физика и астрономия	Физическая электроника	Вариативная часть, дисциплина по выбору
2		Оптика	Вариативная часть, дисциплина по выбору
3		Электрофизика, электрофизические установки	Вариативная часть, дисциплина по выбору
4	11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи	Вакуумная и плазменная электроника	Вариативная часть, дисциплина по выбору

1. Общая характеристика дисциплины

1.1. Место дисциплины в структуре ООП

Перечень основных профессиональных образовательных программ высшего образования — программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлениям подготовки кадров высшей квалификации, в учебные планы которых входит данная дисциплина, и ее место в учебном плане обозначены на титульном листе настоящей рабочей программы.

Учебный курс посвящен изучению нестационарного электродинамического численного (компьютерного) эксперимента — метода моделирования процессов нелинейного взаимодействия ансамблей заряженных частиц (пучков, плазмы) с электромагнитным полем и нестационарных электромагнитных волновых процессов. Метод основан на согласованном решении уравнений электромагнитного поля и уравнений, описывающих (методом макрочастиц или PiC-методом) перенос электрических зарядов. Рассматриваются физические модели, положенные в основу различных PiC-кодов, принципы построения таких кодов, методы численного решения уравнений поля и уравнений движения заряженных частиц в различных приближениях. Делается обзор нескольких простых специализированных кодов. Подробно рассматривается универсальный PiC-код KARAT. Дается обзор подходов к PiC-моделированию типичных для сильноточной электроники систем с использованием кодов различной размерности. В курсе предусмотрен практических занятий по моделированию некоторых из этих систем.

Для успешного освоения дисциплины аспирант должен:

знать: общую физику, классическую электродинамику, основы электродинамики и электроники сверхвысоких частот, физики пучков заряженных частиц, физики плазмы; методы математической физики, численные методы анализа.

владеть: основами программирования на языках высокого уровня.

1.2. Цели и задачи освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является углубленное изучение методологических и теоретических основ нестационарного электродинамического численного эксперимента на основе метода частиц в физической электронике, в том числе сильноточной электронике, а также в физике плазмы.

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

знать:

- физические основы метода макрочастиц и область его применения, архитектуру и основные виды PiC-кодов,
- принципы работы и программной реализации PiC-кодов;

уметь:

- оценивать эффективность и целесообразность применения PiC-кодов различных типов для моделирования конкретных задач физической электроники и физики плазмы;

иметь:

- навыки численного моделирования типичных задач физической электроники и физики плазмы.

1.3. Формируемые компетенции

Освоение настоящей дисциплины дает вклад в формирование у обучающихся следующих компетенций:

ОПК-1: Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий.

ПК-1: Знание физических основ метода макрочастиц и областей его применения, принципов их работы и программной реализации (как составляющая профессиональной компетенции ПК-1 в ООП, в состав которой включается настоящая дисциплина).

ПК-2: Умение оценивать эффективность и целесообразность применения PiC-кодов различных типов для моделирования конкретных задач физической электроники и физики плазмы;

наличие навыков численного моделирования типичных задач с использованием этого метода (как составляющая профессиональной компетенции ПК-2 в ООП, в состав которой включается настоящая дисциплина).

УК-1: Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.

УК-2: Способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки.

УК-3: Готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач.

Таблица соответствия компонентов фонда оценочных средств (ФОС) по дисциплине формируемым компетенциям приведена в п. 5.2 рабочей программы.

2. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы (108 часов).

2.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов, и их трудоемкость (в часах)		
		Лекции	Практика	Самостоятельная работа
1	Метод макрочастиц: сущность, возможности, история	2	—	2
2	Физические основы нестационарных РiС-моделей	4	—	4
3	Архитектура РiС-кода и численное решение уравнений	6	—	6
4	Простые потенциальные и комбинированные РiС-модели	4	—	4
5	Универсальный РiС-код KARAT	4	—	4
6	Моделирование некоторых систем различной размерности	4	24	4
	ИТОГО	24	30	54

2.2. Наименование тем, их содержание, объём в часах лекционных занятий

Порядковый номер лекции	Раздел, тема учебного курса, содержание лекции	Трудоемкость	
		час.	зач. ед.
Раздел 1. Метод макрочастиц: сущность, возможности, история		2	0,055
1	<u>Тема 1.2. Сущность и история развития метода макрочастиц</u> Сущность метода макрочастиц. История развития и современное состояние средств нестационарного численного эксперимента на основе метода макрочастиц, краткий обзор существующих кодов. Области применения метода: электродинамика, электроника, физика плазмы, космология. Примеры решенных задач.	2	0,055

	<u>Тема 1.2. Классификация моделей на основе РіС-метода и их применимость</u> Типичная архитектура РіС-модели. Классификация моделей по методу описания поля. Потенциальные модели с магнитным полем и без него. Комбинированные потенциальные модели с модельным волновым полем. Полностью электромагнитные модели. Классификация моделей по симметрии и размерности уравнений движения и уравнений поля.		
Раздел 2. Физические основы нестационарных РіС-моделей		4	0,11
2	<u>Тема 2.1. Уравнения электромагнитного поля</u> Система уравнений Максвелла. Характеристики электромагнитного поля. Уравнение непрерывности электрического тока. Выражения для полевых величин зарядов и токов в случае точечных заряженных частиц. Усреднение полевых величин по физически бесконечно малому объему. <u>Тема 2.2. Феноменологические представление сред в уравнениях электромагнитного поля</u> Токи, возникающие в различных средах под действием электрического и магнитного полей. Диэлектрики и магнетики без дисперсии. Диэлектрическая и магнитная проницаемости. Диэлектрики с дисперсией, модель Лоренца. Проводники: закон Ома. Среды с анизотропной проводимостью. Плазма: модель Друде.	2	0,055
3	<u>Тема 2.3. Метод макрочастиц в моделировании плазмы</u> Основные сведения о плазме. Дебаевский радиус. Бесстолкновительная плазма. Пучки частиц как пример бесстолкновительной плазмы. Столкновения. Характер движения заряженной частицы в плазме. Резерфордское рассеяние, кулоновский логарифм. Проводимость плазмы. Магнитно-гидродинамическое описание плазмы. Применимость метода макрочастиц для моделирования процессов в плазме.	2	0,055
Раздел 3. Архитектура РіС-кода и численное решение уравнений		6	0,17
4	<u>Тема 3.1. Архитектура РіС-кода</u> Ввод данных. Решение подготовительных задач (электростатика, магнито-статика). Устройство цикла. Взвешивание полей. Решение уравнений движения. Взвешивание зарядов и токов. Решение уравнения движения. Решение дополнительных задач в цикле. Вывод результатов и их анализ. <u>Тема 3.1. Решение уравнений движения заряженной частицы</u> Уравнение движения релятивистской заряженной частицы. Сила Лоренца. Метод Эйлера, методы Рунге-Кутты. Метод перешагивания. Описание вращения в магнитном поле: метод Бориса.	2	0,055
5	<u>Тема 3.2. Решение уравнения Пуассона для электростатического потенциала</u> Виды граничных условий. Одномерная модель: прямое решение. Использование метод преобразования Фурье в одномерном, двумерном, трехмерном случаях. Методы для сложных областей Метод функций Грина для открытого пространства	2	0,055
6	<u>Тема 3.3. Решение уравнений Максвелла</u> О природе уравнений Максвелла. Волновое уравнение. Ограниченные области: метод конечных разностей. Разностные схемы, их точность и устойчивость. Решение одномерного волнового уравнений. Решение уравнений Максвелла. Метод с перешагиванием. Нецентрированные методы. <u>Тема 3.4. Граничные условия для уравнений Максвелла</u> Идеальный проводник. Граница с конечной проводимостью. Излучение ТЕМ-волны. Идеально согласованный слой (PML).	2	0,055
Раздел 4. Простые потенциальные и комбинированные РіС-модели		4	0,11
7	<u>Тема 4.1. Потенциальные модели</u> Одномерная секционированная потенциальная модель с внешним высокочастотным полем. Описание модели. Описание кода, возможности диагностики. Периодические потенциальные модели: XZ, XYZ, Rθ, RθZ. Области применения потенциальных моделей.	2	0,055

8	<p><u>Тема 4.2. Одномерная комбинированная модель релятивистской лампы обратной волны</u> Релятивистская ЛОВ, принцип работы, основные физические процессы. Приближения модели и ее границы применимости. Решение уравнения для электромагнитной волны, разностная схема. Представление электронного пучка, минимизация дробового шума. Учет поля объемного заряда: метод Фурье, интегральный метод функций Грина. Программная реализация кода.</p>	2	0,055
Раздел 5. Универсальный PiC-код KARAT		4	0,11
9	<p><u>Тема 5.1. Модель и алгоритмы</u> Общая характеристика кода и его версий различной размерности. Основные уравнения физической модели. Решений уравнений поля. уравнение Пуассона. Решение уравнений движения. Реализация PiC-метода и цифровая фильтрация.</p> <p><u>Тема 5.2. Структура кода</u> Последовательность вычислений. Структура базы данных: блок задания физических величин, геометрический блок, блок параметров численной модели, блок задания выводимой информации.</p>	2	0,055
10	<p><u>Тема 5.3. Основные физические явления, моделируемые в коде KARAT</u> PiC-моделирование пучков частиц и плазменных областей. Моделирование столкновительных процессов. Феноменологически моделируемые объекты. RLC-цепи. Идеально согласованный слой. Граница с конечной проводимостью. Вычисление поля источника в дальней волновой зоне</p>	2	0,055
Раздел 6. Моделирование некоторых систем различной размерности		4	0,11
11	<p><u>Тема 6.1. 1D моделирование.</u> Виртуальный катод. Диаграмма токопрохождения. Частота релаксационных колебаний. Двухззорный виркатор. Динамика плазменного слоя. Динамика лазерной мишени.</p> <p><u>Тема 6.2. 2D моделирование в плоской геометрии.</u> Фокусировка пучка и шланговая неустойчивость. Инжекция ленточного пучка в плазму. Анизотропная неустойчивость Вайбеля. Сканирующий электронный пучок. Взаимодействие сверхинтенсивного лазерного импульса с мишенью. Формирование электронных ступок при облучении пленок лазером. Распространение сверхширокополосного импульса в среде Лоренца.</p> <p><u>Тема 6.3. 2D моделирование в осесимметричной геометрии (начало)</u> Электромагнитные волны в волноводах. Излучение сверхширокополосных импульсов через коаксиальный TEM-рупор. Формирующая линия с секцией спирального типа. Устройства с виртуальным катодом. Генерация нейтронов в виркаторе. Коаксиальный диод с магнитной самоизоляцией. Электронный пучок с энергетическим разбросом в КДМИ и протяженной ловушке.</p>	2	0,055
12	<p><u>Тема 6.3. 2D моделирование в осесимметричной геометрии (окончание)</u> Ускоритель заряженных частиц на спутнике. Релятивистская лампа обратной волны. Генерация сверхкоротких мощных СВЧ-импульсов. Процессы на фронте тока сильноточного трубчатого электронного пучка. Кильватерные поля для ускорителя. Моделирование СВЧ устройств с плазмой при ее представлении средой Друде и PiC-методом.</p> <p><u>Тема 6.4. 2D моделирование в полярной системе координат.</u> Гладкий магнетронный диод: динамика объемного заряда.</p> <p><u>Тема 6.5. 3D моделирование в цилиндрической системе координат.</u> Гладкий магнетронный диод. Магнетрон.</p> <p><u>Тема 6.6. 3D моделирование в декартовой системе координат.</u> Широкополосная рупорная антенна. Фокусировка электронного пучка и шланговая неустойчивость. Сжатое состояние и состояние с разбросом по энергии для трубчатого электронного пучка. Двухсекционный виркатор.</p>	2	0,055

	Кильватерные поля для ускорения заряженных частиц.		
	СУММАРНАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ	24	0,66

2.3. Практические занятия

На практических занятиях аспиранты осуществляют численный эксперимент для различных задач электродинамики, сильноточной электроники, физики пучков заряженных частиц и физики плазмы с помощью полностью электромагнитного универсального кода КАРАТ, а также специализированных РiС-кодов авторской разработки.

№ недели	Раздел учебного курса, содержание практического занятия	Трудоемкость	
		час.	зач. ед.
Раздел 6. Моделирование некоторых систем различной размерности		30	0,83
11	Моделирование виртуального катода в одномерной модели. Построение диаграммы токопрохождения. Определение частоты релаксационных колебаний.	2	0,055
11	Оптимизация параметров двухсекционного виркатора в одномерной и трехмерной моделях и исследование возможности перестройки частоты излучения в трехмерной электромагнитной модели.	2	0,055
12	Моделирование генерации импульсов в формирующей линии с секцией спирального типа в осесимметричной электромагнитной модели.	2	0,055
12	Моделирование излучения сверхширокополосных импульсов через коаксиальный ТЕМ-рупор в осесимметричной модели. Трехмерное моделирование сверхширокополосной рупорной антенны.	2	0,055
13	Моделирование взаимодействия сверхинтенсивного лазерного импульса с мишенью в плоской двумерной электромагнитной модели. Распространение сверхширокополосного импульса в среде Лоренца в плоской двумерной электромагнитной модели.	2	0,055
13	Моделирование коаксиального диода с магнитной изоляцией, "сжатого" состояния и состояния с разбросом по энергии для трубчатого электронного пучка в осесимметричной и трехмерной моделях.	2	0,055
13	Моделирование инерционной группировки в электронном пучке в одномерной и двумерной моделях. Исследование влияния объемного заряда пучка.	2	0,055
14	Моделирование гладкого магнетронного диода и магнетрона в двумерных и трехмерных моделях.	2	0,055
14	Определение стартового тока ЛОВ в одномерной модели. Исследование влияния затухания волны, условий отражения обратной волны и величины объемного заряда на величину стартового тока.	2	0,055
14	Моделирование релятивистской ЛОВ в осесимметричной электромагнитной модели. Исследование циклотронного поглощения встречной и попутной волн в ЛОВ.	2	0,055
15	Трехмерное моделирование релятивистской ЛОВ с коаксиальной замедляющей системой: возбуждение симметричной и несимметричных волн.	2	0,055
15	Исследование влияния эмиссии заряженных частиц с поверхности замедляющей системы релятивистской ЛОВ на процесс генерации в осесимметричном электромагнитном моделировании.	2	0,055
15	Исследование автомодельных решений для уединенных СВЧ-импульсов в протяженных системах с обратной волной в одномерной модели.	2	0,055
16	Моделирование процессов на фронте тока сильноточного трубчатого электронного пучка и оптимизация однопроходного генератора сверхкоротких СВЧ импульсов в одномерной и двумерной моделях.	2	0,055
16	Исследование плазменного релятивистского СВЧ-генератора в осесимметричной электромагнитной модели с плазмой по Друде и с РiС-плазмой.	2	0,055

	СУММАРНАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ	30	0,83
--	------------------------	----	------

2.4. Самостоятельная работа аспирантов

Внеаудиторная самостоятельная работа аспирантов включает следующие виды деятельности:

- проработку учебного материала по конспектам лекций и учебной литературе,
- конспектирование и реферирование источников из списка дополнительной учебной и научной литературы;
- подготовка к практическим занятиям.

2.4.1. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов

Используются виды самостоятельной работы аспиранта: в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах, на рабочих местах с доступом к интернет-ресурсам, и в домашних условиях. Аспиранты имеют возможность получать консультации у преподавателя.

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим основную и дополнительную учебную и научную литературу, а также конспекты лекций.

3. Учебно-методические материалы

3.1. Литература

а) основная литература:

1. Бэдсел Ч., Ленгдон А. Физика плазмы и численное моделирование. – М.: Энергоиздат, 1989. – 455 с.
2. Хокни Р., Иствуд Дж. Численное моделирование методом частиц. М.: Мир, 1987.
3. Рошаль А. С. Моделирование заряженных пучков. – М.: Атомиздат, 1979. – 340 с.
4. Пегель И. В. Нестационарные процессы генерации сильноточных электронных пучков и мощных импульсов электромагнитного излучения / дисс. ... докт. физ.-мат. наук. – Томск, 2006 – 214 с.
5. Тараканов В. П. Теоретический и численный анализ нелинейных задач физики плазмы посредством кода КАРАТ / дисс. ... докт. физ.-мат. наук. – Москва, 2011 – 264 с.
6. Годунов С.К., Рябенский В.С. Разностные схемы. – М.: Наука, 1977. – 439 с.

б) дополнительная литература:

1. Korovin S. D., Gubanov V. P., Gunin A. V., Pegel I. V., Stepchenko A. S. Repetitive nanosecond high-voltage generator based on spiral forming line / Proc. Int. IEEE Pulsed Power Plasma Science Conf. (PPPS-2001), Las Vegas, 2001. – PP. 1249–1251.
2. Беломытцев С. Я., Пегель И. В. Физика сильноточных пучков заряженных частиц. Учебное пособие. – Томск: Издательство ТПУ, 2008. – 115 с.
3. Гапонов-Грехов А. В., Петелин М. И. Релятивистская высокочастотная электроника // Вестник АН СССР, 1979, № 4, с. 11-23.
4. Гинзбург Н. С., Кузнецов С. П., Федосеева Т. Н. Теория переходных процессов в релятивистской ЛОВ // Известия вузов. Радиофизика. – 1978. – Т. 21. – № 7. – С. 1037–1052.
5. Губанов В. П., Коровин С. Д., Пегель И. В., Ростов В. В., Степченко А. С., Тараканов В. П. Генерация мощных сверхширокополосных электромагнитных импульсов наносекундной длительности в системе с коаксиальным ТЕМ-рупором // Известия вузов. Физика. – 1996. – № 12. – С. 110–118.
6. Ельчанинов А. А., Коровин С. Д., Пегель И. В., Ростов В. В. Генерирование коротких мощных СВЧ-импульсов в режиме пространственного накопления электромагнитной

- энергии // Вопросы атомной науки и техники. Серия 3. Плазменная электроника и новые методы ускорения. – 2003. – № 4. – С. 20—25.
7. Кицанов С. А., Климов А. И., Коровин С. Д., Куркан И. К., Пегель И. В., Полевин С. Д. Виркатор с предмодуляцией электронного пучка на основе сильноточного импульсно–периодического ускорителя // Журнал технической физики. – 2002. – Т. 72. – В. 5. – С. 82—90.
 8. Коровин С. Д., Месяц Г. А., Пегель И. В., Полевин С. Д., Тараканов В. П. Механизм ограничения длительности микроволнового импульса релятивистской ЛОВ // Письма в ЖТФ. – 1999. – Т. 25. – В. 6. – С. 27—36.
 9. Котетешвили П. В., Рыбак П. В., Тараканов В. П. KARAT — средство вычислительного эксперимента в электродинамике. Препринт № 44 ИОФ АН СССР. - М., 1991, 46 с.
 10. Кузелев М. В., Рухадзе А. А., Стрелков П. С. Плазменная релятивистская СВЧ-электроника / Под ред. А. А. Рухадзе. – Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 543 с.
 11. Пегель И. В. Моделирование нестационарных процессов в релятивистской лампе обратной волны методом макрочастиц // Известия вузов. Физика. – 1996. – № 12. – С. 62—83.
 12. Пегель И. В. Электродинамика сверхвысоких частот. Учебное пособие. – Томск: Издательство ТПУ, 2009. – 158 с.
 13. Сигов Ю. С. Вычислительный эксперимент: мост между прошлым и будущим физики плазмы. Избранные труды / Сост. Г. И. Змиевская, В. Д. Левченко. – М.: Физматлит, 2001. – 288 с.
 14. Тараканов В. П. Универсальный электромагнитный код KARAT / в кн.: Математическое моделирование. Проблемы и результаты. – М.: Наука, 2003. – С. 456—476.
 15. Трубецков Д. И., Храмов А. Е. Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков. В двух томах. М.: Физматлит, 2003, 2004.– 496 с, 648 с.

4. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- аудиторный фонд ИСЭ СО РАН,
- средства мультимедиа,
- рабочее место аспиранта, персональный компьютер с выходом в Интернет,
- библиотечный фонд ИСЭ СО РАН,
- средства компьютерного эксперимента (код KARAT и специализированные авторские PиС-коды).

5. Оценка качества освоения дисциплины

5.1. Оценочные мероприятия и формирование оценки

Оценка качества освоения дисциплины обучающимся осуществляется с использованием балльной системы. Перечень оценочных мероприятий и максимальное количество баллов, которое может быть получено обучающимся в результате каждого мероприятия, приведены в таблице.

Оценочное мероприятие	Максимальное число баллов
Промежуточные тесты (по разделам дисциплины)	20
Оценка работы на практических занятиях (практическое численное моделирование на персональном компьютере)	40
Дифференцированный зачет	40
Максимальный суммарный балл	100

На дифференцированном зачете аспиранту выставляется оценка и соответствующее ей число баллов:

«Отлично»: 32—40 баллов.
 «Хорошо»: 23—31 баллов.
 «Удовлетворительно»: 10—22 баллов.
 «Неудовлетворительно»: 10 баллов и менее.

Итоговая оценка качества освоения дисциплины определяется величиной суммарного балла:
 «Отлично»: 81—100 баллов.
 «Хорошо»: 61—80 баллов.
 «Удовлетворительно»: 41—60 баллов.
 «Неудовлетворительно»: 40 баллов и менее.

5.2. Соответствие оценочных мероприятий (компонентов ФОС) дисциплины формируемым компетенциям, перечисленным в п. 1.3

Компонента ФОС, оценочное мероприятие	Компетенции					
	ОПК-1	ПК-1	ПК-2	УК-1	УК-2	УК-3
Промежуточные тесты (по разделам дисциплины)		+	+			
Оценка работы на практических занятиях (практическое численное моделирование на персональном компьютере)	+	+	+	+	+	+
Дифференцированный зачет	+	+	+	+		

Рабочая программа составлена на основании:

- федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлениям подготовки 03.06.01 Физика и астрономия и 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи, утвержденных приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30 июля 2014 г. № 867;
- паспортов специальностей научных работников 01.04.04 — физическая электроника; 01.04.05 — оптика; 01.04.13 — электрофизика, электрофизические установки; 05.27.02 — вакуумная и плазменная электроника;
- программ-минимумов кандидатских экзаменов по выше перечисленным специальностям, утвержденных приказом Минобрнауки РФ от 08.10.2007 г. № 274.

Составитель рабочей программы
 проф. ООД, д.ф.-м.н., с.н.с.



И. В. Пегель

Рабочая программа рассмотрена и одобрена ученым советом ИСЭ СО РАН.
 Протокол № 13 от «24» августа 2018 г.

Секретарь ученого совета, д.ф.-м.н.



И. В. Пегель

**Дополнения и изменения в рабочей программе
за _____ / _____ учебный год**

В рабочую программу дисциплины «Численный эксперимент в сильноточной электронике»
вносятся следующие дополнения и изменения:

Дополнения и изменения внес _____
(должность, Ф.И.О., подпись)

Рабочая программа пересмотрена и одобрена на заседании ученого совета ИСЭ СО РАН.
Протокол № ____ от « ____ » _____ 20 ____ г.

Секретарь ученого совета

подпись

Ф. И. О.