

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Саровский физико-технический институт -

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(СарФТИ НИЯУ МИФИ)

«УТВЕРЖДАЮ»

Декан физико-технического факультета СарФТИ НИЯУ МИФИ

_____ А.К.Чернышев
«...» _____ 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Физика и техника ускорителей

Направление подготовки (специальность) **03.04.01 Прикладная математика и физика**

Профиль подготовки **Физика фундаментальных взаимодействий**

Квалификация (степень) выпускника **магистр**
(бакалавр, магистр, специалист)

Форма обучения **очная**
(очная, очно-заочная (вечерняя), заочная)

Авторы _____ зав. кафедрой Н.В. Завьялов
_____ ст. преподаватель кафедры Е.С. Михайлов
_____ доцент кафедры к.ф.-м.н. А.В. Тельнов

Рецензент _____ д.ф.-м.н. В.С. Гордеев

Согласовано:

Зав. кафедрой ЯРФ _____ д.ф.-м.н. Н.В. Завьялов

Руководитель ОПП _____ д.ф.-м.н. Н.В. Завьялов

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и ОС НИЯУ МИФИ (актуализирован Ученым советом университета, Протокол №21/11 от 27.07.2021 г)

Программа одобрена
на заседании кафедры Ядерной и радиационной физики
от 31.08.21 (протокол №2).

г. Саров, 2021 г.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цель изучения дисциплины:

- в области обучения – формирование у будущих специалистов необходимого минимума специальных знаний, умений, навыков расчета и проектирования, а также компетенций в области разработки и эксплуатации сильноточных ускорителей заряженных частиц, в частности, формирование современных знаний в области физики и техники сильноточных ускорителей научного и прикладного назначений;
- в области воспитания – научить эффективно работать индивидуально и в команде, проявлять умения и навыки, необходимые для профессионального, личностного развития;
- в области развития – подготовка студентов к дальнейшему освоению новых профессиональных знаний и умений, самообучению, непрерывному профессиональному самосовершенствованию.

1.2. Задачи дисциплины:

- представление общей информации по физике и технике сильноточных ускорителей заряженных частиц, в частности, широкого спектра действующих и проектирующихся ускорителей научного и прикладного назначений.
- описание физических основ работы генерации пучков сильноточных электронов и ионов, сильноточных ускорителей прямого действия, линейных индукционных ускорителей;
- освещение вопросов современного состояния технической реализации основных систем сильноточных ускорителей и их взаимосвязь.
- стимулировать развитие способности к самостоятельному поиску и обработке научной информации.

2 МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Курс «Физика и техника ускорителей» изучается студентами на 1 и 2 курсах магистратуры (1-3 семестры обучения) и дает представление об основных понятиях физики и техники сильноточных ускорителей заряженных частиц, основных типах ускорителей с определением их научного и прикладного назначения, о методах расчетов и измерений основных характеристик пучков заряженных частиц, а также знакомит студентов с широким спектром ускорителей, работающих в РФЯЦ-ВНИИЭФ. Курс основан на следующих дисциплинах: математические методы теоретической физики, электротехника, физика атомного ядра и элементарных частиц, физика и техника сверхвысоких частот, физика высоких плотностей энергии, вакуумная техника.

3 КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ. ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА ПО ЗАВЕРШЕНИЮ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

В совокупности с другими дисциплинами курс «Физика и техника ускорителей» направлен на формирование следующих профессиональных и общепрофессиональных компетенций магистра:

- **ОПК-4** – Способен выбирать цели своей профессиональной деятельности и пути их достижения, осуществлять научный, технический, технологический и инновационный поиск, прогнозировать научные, производственные, технологические и социально-экономические последствия;

- **ПК-2** - способен критически оценивать применяемые методики и методы исследования;
- **ПК-3** - способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием, приборами и установками в избранной предметной области в соответствии с целями программы специализированной подготовки магистра

Студент должен будет:

Знать:

З-ОПК-4 Знать современные методы анализа и научного, технического, технологического и инновационного поиска, прогноза научных, производственных, технологических и социально-экономических последствий

З-ПК-2 Знать методики оценки и выбора методов исследования.

З-ПК-3 Знать основные методы исследований, принципы работы приборов и установок в избранной предметной области

В том числе:

- основные термины, определения и единицы системы измерений в области ускорителей заряженных частиц;
- основные физические явления и процессы, протекающие при формировании и ускорении сильно-точных пучков заряженных частиц;
- способы описания динамики движения заряженных частиц в ускоряющих структурах;
- основные типы сильноточных ускорителей, их особенности конструкции, характеристики и параметры;
- нормы радиационной безопасности и способы и средства радиационной защиты;
- основные области научного и прикладного использования сильноточных пучков электронов и ионов.

Уметь:

У-ОПК-4 Уметь выбирать цели своей профессиональной деятельности и пути их достижения, осуществлять научный, технический, технологический и инновационный поиск, уметь прогнозировать научные, производственные, технологические и социально-экономические последствия.

У-ПК-2 Уметь критически оценивать применяемые методики и методы исследования

У-ПК-3 Уметь выбирать необходимые технические средства для проведения экспериментальных исследований в избранной предметной области, обрабатывать полученные экспериментальные результаты

В том числе:

- обоснованно выбирать тип ускоряющей структуры для достижения целевых параметров ускоренных пучков заряженных частиц для создания установок научного и прикладного назначений;
- пользоваться справочной и технической документацией.

Владеть:

В-ОПК-4 Владеть навыками использования современных методов анализа, обработки и формализации информации для осуществления научного, технического, технологического и инновационного поиска, а также прогноза научных, производственных, технологических и социально-экономических последствий

В-ПК-2 Владеть навыками оценки методов исследования по выбранным критериям

В-ПК-3 Владеть навыками работы с исследовательским и испытательным оборудованием, приборами и установками в избранной предметной области

В том числе:

- практическими навыками решения задач по физике ускорения электронов и ионов в стационарных и импульсных электрических полях;
- методами определения энергетических и пространственных характеристик электронных и ионных ускоренных пучков;
- навыками ведения дискуссий при защите научно-технических работ.

В результате изучения дисциплины студент должен получить комплексную систему знаний о физике и технике ускорителей:

- **Знание и понимание физики ускорителей электронов и ионов** (понятия и определения, способы описания систем формирования высоковольтных импульсов ускоряющего напряжения, способы генерации пучков заряженных частиц, описание движения заряженных частиц в пучках)
- **Основные представления об ускоряющих структурах** (устройства генерации и ускорения пучков, принцип действия, физические основы и характерные параметры, схемы построения и конструктивные особенности, основные системы, элементы и материалы, применяемые для создания ускорителей)
- **Практические навыки определения параметров электронных и ионных пучков** (основные методы определения параметров электронных и ионных пучков, практическое применение методов в научных и прикладных исследованиях).
- **Радиационная безопасность** (биологическое действие ионизирующего излучения, основные определения радиационной техники безопасности, физические основы безопасности ИИ, средства и способы защиты от радиационного воздействия электронных и ионных ускорителей).

4 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1 Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается студентами на 1 - 3 семестрах обучения: общая трудоемкость 216 а.ч., из них 128 а.ч. – аудиторная нагрузка, включая 36 а.ч. в интерактивной форме, 61 а.ч. СРС.

1 семестр - 32 а.ч.– лекции, 16 а.ч. – практики, 24 а.ч. – СРС.

2 семестр - 32 а.ч. – лекции, 16 а.ч. – практики, 24 а.ч.– СРС.

3 семестр - 16 а.ч. – лекции, 16 а.ч. – практики, 13 а.ч. – СРС.

1 СЕМЕСТР ОБУЧЕНИЯ

4.1 Разделы учебной дисциплины

1. Вводная лекция. Основные этапы развития ускорительной физики и техники. Требования к параметрам ускоренных пучков в фундаментальных и прикладных исследованиях. Ускорительные центры России и мира.

2. Основные принципы ускорения заряженных частиц. Кинематика релятивистских частиц. Характеристики ускорителей и пучков заряженных частиц. Основные методы ускорения заряженных частиц: высоковольтное ускорение, индукционное ускорение, резонансное ускорение. Классификация ускорителей. Новые методы ускорения заряженных частиц

3 Электронно-оптические системы ускорителей.

Элементы электронно-оптических систем. Линзы в оптике заряженных частиц. Матрица перехода. Тонкая линза. Основные типы линз. Электростатические линзы. Магнитные линзы.

Фокусирующие системы. Матричный анализ движения частиц. Периодические фокусирующие системы. Уравнение Хилла и функции Флоке. Матрица перехода и условие устойчивости. Инвариант Куранта-Снайдера.

Отклоняющие системы. Поворотные магниты. Магнитные отклоняющие системы. Электростатические отклоняющие системы.

Выводные устройства ускорителей

4. Основные типы циклических ускорителей и их особенности.

Циклические ускорители с постоянным во времени магнитным полем (циклотронного типа). Циклотрон. Фазотрон. Изохронный циклотрон. Микротрон. Принцип действия. Устройство. Параметры.

Циклические ускорители с переменным во времени магнитным полем и постоянным радиусом орбиты. Бетатрон. Синхротрон. Синхрофазотрон. Принцип действия. Устройство. Параметры.

Накопительные установки. Эксперименты на встречных пучках заряженных частиц. Схемы ускорителей на встречных пучках. Основные соотношения. Параметры наиболее известных коллайдеров.

5. Применение ускорителей заряженных частиц. Ускорители в ядерной физике. Ускорители в физике элементарных частиц. Ускорители в ядерной энергетике и трансмутация ядерных отходов. Ускорители в промышленности и прикладных исследованиях. Ускорители в медицине.

Таблица 1 – Календарно-тематический план занятий и контроля в 1 семестре

Раздел учебной дисциплины	Недели	Виды учебной деятельности			Текущий контроль успеваемости	Максимальный Балл за раздел
		Лекции, час	Практика, час (ИФ)	Самост. раб./Нед./час		
1. Вводная лекция						
Основные этапы развития ускорительной физики и техники. Требования к параметрам ускоренных пучков в фундаментальных и прикладных исследованиях. Ускорительные центры мира и России	1	2				
2. Основные принципы ускорения заряженных частиц						
Кинематика релятивистских частиц. Характеристики ускорителей и пучков заряженных частиц.	1	2				
Основные методы ускорения заряженных частиц: высоковольтное ускорение, индукционное ускорение, резонансное ускорение. Классификация ускорителей.	2	2				

Новые методы ускорения заряженных частиц.	3	2		Подготовка к практическому занятию/3нед/2часа		
Практическое занятие: обсуждение вопросов и решение задач по разделу 2	3		2(2)		УО	5
3. Электронно-оптические системы ускорителей						
Элементы электронно-оптических систем. Линзы в оптике заряженных частиц. Матрица перехода. Тонкая линза. Основные типы линз. Электростатические линзы. Магнитные линзы	4	2				
Фокусирующие системы. Матричный анализ движения частиц. Периодические фокусирующие системы. Уравнение Хилла и функции Флокке. Матрица перехода и условие устойчивости. Инвариант Куранта-Снайдера.	5	2				
Отклоняющие системы. Поворотные магниты. Магнитные отклоняющие системы. Электростатические отклоняющие системы.	5	2				
Выводные устройства ускорителей	6	2		Подготовка к практическому занятию/6нед/2часа		
Практическое занятие: обсуждение вопросов и решение задач по разделу 3	7		2(2)	Подготовка к КР/7нед/4часа	УО	5
КР-1 по разделам 2, 3	7		2		КР	10
4. Основные типы циклических ускорителей и их особенности						
Циклические ускорители с постоянным во времени магнитным полем (циклотронного типа). Циклотрон. Фазотрон. Изохронный циклотрон. Принцип действия. Устройство. Параметры.	8	2				
Циклические ускорители с постоянным во времени магнитным полем (циклотронного типа). Микротрон. Принцип действия. Устройство. Параметры.	9	2				
Циклические ускорители с переменным во времени магнитным полем и постоянным радиусом орбиты. Бетатрон. Принцип действия. Устройство. Параметры.	9	2				
Циклические ускорители с переменным во времени магнитным полем и постоянным радиусом орбиты. Синхротрон. Синхрофазотрон. Принцип действия. Устройство. Параметры	10	2				
Накопительные установки. Эксперименты на встречных пучках заряженных частиц. Основные соотношения.	11	2				
Накопительные установки. Схемы ускорителей на встречных пучках. Параметры наиболее известных коллайдеров.	11	2		Подготовка к практическому занятию/11нед/2часа		
Практическое занятие: Обсуждение вопросов	12		2(2)	Подготовка к	УО	5

и решение задач по разделу 4				КР/7нед/4часа		
КР-2 по разделу 4.	13		2		КР	10
5. Применение ускорителей заряженных частиц						
Ускорители в ядерной физике. Ускорители в ядерной энергетике и трансмутация ядерных отходов.	13	2				
Ускорители в физике элементарных частиц.	14	2				
Групповое обсуждение Ускорители в промышленности и прикладных исследованиях. Ускорители в медицине.	15		2(2)			5
Экскурсия на ускорители РФЯЦ-ВНИИЭФ и групповое обсуждение (УО) по результатам экскурсии	16		4(4)	Подготовка к экскурсии и групповому обсуждению/ 16 нед/2 часа	УО	5
Зачет	17			Подготовка к зачету/16 нед/8 часов		50
Итого		32	16	24		
Бально-рейтинговая система						
Посещаемость						5
Кол-во баллов за работу в семестре: 2 КР – 20 баллов; 5 ИФ -25 баллов						45
Зачет	17					50
Итого за семестр						100

4.3 Планы практических занятий

Цель практических занятий – закрепить основные (базовые) понятия и определения изучаемой темы посредством подготовки к дискуссиям, практическим занятиям; приобрести начальные навыки решения типовых задач по изучаемой теме посредством выполнения практических работ.

1. Основные принципы ускорения заряженных частиц.

Практическое занятие (3 неделя) проводится в форме собеседования, решения и разбора типовых задач. Максимальная оценка 5 баллов

Вопросы: Кинематика релятивистских частиц. Уравнения движения заряженных частиц в электромагнитных полях. Основные методы ускорения заряженных частиц.

Типовые задачи приведены в ФОС

2. Электронно-оптические системы ускорителей.

Практическое занятие (7 неделя) проводится в форме собеседования, решения и разбора типовых задач. Максимальная оценка 5 баллов

Вопросы: Матрица перехода. Тонкая линза. Квадрупольная линза, матрица перехода. Дуплет квадрупольных линз. Триплет квадрупольных линз.

Типовые задачи приведены в ФОС

3. Основные типы циклических ускорителей и их особенности.

Практическое занятие (12 неделя) проводится в форме собеседования, решения и разбора типовых задач. Максимальная оценка 5 баллов

Вопросы: Особенности циклических ускорителей с постоянным во времени магнитным полем, с постоянным радиусом орбиты.

Типовые задачи приведены в ФОС

4. Ускорители РФЯЦ-ВНИИЭФ.

Практическое занятие (16 неделя) проводится в виде экскурсии на доступные для посещения ускорители, далее проводится групповое обсуждение, в котором участвуют все студенты. Максимальная оценка 10 баллов

4.4 ИНТЕРАКТИВНЫЕ ФОРМЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 2 – Описание в интерактивной форме.

№ недели	Раздел дисциплины (тема)	Интерактивная форма	Кол-во часов	Методы и средства контроля	Максимальный балл
3	Практическое занятие: обсуждение вопросов и решение задач по разделу 2	Групповое обсуждение	2	Педагогическое наблюдение и анализ правильности ответов на вопросы; вопросы, задаваемые по теме; замечания, активность обсуждения и т.п.	5
7	Практическое занятие: обсуждение вопросов и решение задач по разделу 3	Групповое обсуждение	2	Педагогическое наблюдение и анализ правильности ответов на вопросы; вопросы, задаваемые по теме; замечания, активность обсуждения и т.п.	5
12	Практическое занятие: Обсуждение вопросов и решение задач по разделу 4	Групповое обсуждение	2	Педагогическое наблюдение и анализ правильности ответов на вопросы; вопросы, задаваемые по теме; замечания, активность обсуждения и т.п.	5
15	Групповое обсуждение по теме: Ускорители в промышленности и прикладных исследованиях. Ускорители в медицине.	Групповое обсуждение	2	Педагогическое наблюдение и анализ правильности ответов на вопросы; вопросы, задаваемые по теме; замечания, активность обсуждения и т.п.	5
16	Экскурсия на ускорители РФЯЦ-ВНИИЭФ и групповое обсуждение по результатам экскурсии.	Групповое обсуждение	4	Педагогическое наблюдение и анализ правильности ответов на вопросы; вопросы, задаваемые по теме; замечания, активность обсуждения и т.п.	5
ИТОГО часов			12		25

5 Самостоятельная работа студентов

Таблица 3 – Календарно-тематический план самостоятельной работы студентов

Номер недели	Номер темы	Задание для СРС	Форма занятий для контроля	Кол-во часов СРС
3	2	Подготовка к практическому занятию	УО	2
6	3	Подготовка к практическому занятию	УО	2
7	2, 3	Подготовка к КР	КР	4
11	4	Подготовка к практическому занятию	УО	2
12	4	Подготовка к КР	КР	4
16	5	Подготовка к групповому обсуждению	УО	2
16	1-5	Подготовка к зачету	Зачет	8
			ИТОГО:	24

6 ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ ПО КУРСУ ФИЗИКА И ТЕХНИКА УСКОРИТЕЛЕЙ
Написания и защиты рефератов в первом семестре не предусмотрено.

7. ВОПРОСЫ К КОНТРОЛЬНЫМ РАБОТАМ ПРИВЕДЕНЫ В ФОС

8. БИЛЕТЫ К ЗАЧЕТУ ПРИВЕДЕНЫ В ФОС

2 СЕМЕСТР ОБУЧЕНИЯ

4.2 Разделы учебной дисциплины

1. Основные типы линейных ускорителей и их особенности. Устойчивость движения частиц в ускорителях. Описание системы частиц в фазовом пространстве. Фазовый объем, фазовые траектории. Акцептанс и эмиттанс. Теорема Лиувилля. Адиабатическая теорема.

Продольная устойчивость движения частиц. Принцип автофазировки. Равновесная частица. Условие Векслера для линейных резонансных ускорителей, для циклических ускорителей с постоянным во времени магнитным полем, с переменным во времени магнитным полем.

Представление процесса ускорения на фазовой плоскости. Структура фазовых траекторий. Сепаратрисса, продольный акцептанс, захват частиц в ускорение.

Поперечная устойчивость и фокусировка. Поперечный фазовый объем пучка. Мягкая фокусировка в циклических ускорителях. Показатель спада магнитного поля, бетатронные колебания. Устойчивость бетатронных колебаний.

2. Источники пучков заряженных частиц.

Электронная эмиссия: термоэмиссия, автоэмиссия, плазменная (в том числе взрывная) эмиссия, фотоэмиссия. Основные характеристики катодов на основе каждого из видов эмиссии.

Электронные пушки. Формирование пучков. Первеанс, эмиттанс, яркость пучков.

Ионные источники. Механизмы генерации ионов. Формирование пучков. Первеанс, эмиттанс, яркость пучков.

3. Высокоточные ускорители

Электростатический ускоритель (ЭСУ). Принцип действия. Устройство. ЭСУ под давлением, с перезарядкой. Параметры.

Каскадный ускоритель. Принцип действия. Устройство. Разновидности схем каскадных умножителей. Параметры.

4. Линейные резонансные ускорители.

Линейные ускорители ионов. Линейные ускорители электронов. Принцип действия. Устройство. Параметры.

5. Диагностика пучков заряженных частиц

Измерение заряда. Измерение тока и локальной плотности тока. Измерение полной энергии в пучке. Измерение энергетического спектра. Диагностика положения пучка.

Таблица 1 – Календарно-тематический план занятий и контроля

Раздел учебной дисциплины	Недели	Виды учебной деятельности			Текущий контроль успеваемости	Максимальный балл за раздел
		Лекции, час	Практика, час (ИФ)	Самост. раб./Нед./час		
1. Основные типы линейных ускорителей и их особенности						
Вводная лекция. Устойчивость движения частиц в ускорителях. Описание системы частиц в фазовом пространстве. Фазовый объем, фазовые траектории. Акцептанс и эмиттанс. Теорема Ливилля. Адиабатическая теорема.	1	2				
Продольная устойчивость движения частиц. Принцип автофазировки. Равновесная частица. Условие Векслера для линейных резонансных ускорителей, для циклических ускорителей с постоянным во времени магнитным полем, с переменным во времени магнитным полем. Представление процесса ускорения на фазовой плоскости. Структура фазовых траекторий. Сепаратрисса, продольный акцептанс, захват частиц в ускорение.	2	4		Подготовка к дискуссии /2нед/2час		
Дискуссия по теме: Продольная устойчивость движения частиц.	3		2(2)		УО, Д	5
Поперечная устойчивость и фокусировка. Поперечный фазовый объем пучка. Мягкая фокусировка в циклических ускорителях. Показатель спада магнитного поля, бетатронные колебания. Устойчивость бетатронных колебаний.	4	2				
2. Источники пучков заряженных частиц						
Электронная эмиссия: термоэмиссия, автоэмиссия, плазменная (в том числе взрывная) эмиссия, фотоэмиссия. Основные характеристики катодов на основе каждого из видов эмиссии.	5	4		Подготовка к семинару /5нед/2час		
Электронные пушки. Формирование пучков. Первеанс, эмиттанс, яркость пучков.	6	4				
Семинар: Оптимизация параметров электронных пушек.	7		2(2)	Подготовка к КР/7нед/2час	УО	5

Ионные источники. Механизмы генерации ионов. Формирование пучков. Первеанс, эмиттанс, яркость пучков.	7	2				
КР-1 по разделам 1, 2	8		2	Работа по написанию реферата /8-15нед/2 час	КР	5
3. Высоковольтные ускорители						
Электростатический ускоритель (ЭСУ). Принцип действия. Устройство. ЭСУ под давлением, с перезарядкой. Параметры.	9	2		Подготовка к семинару /9нед/2час		
Семинар: Электростатический ускоритель (ЭСУ). Принцип действия	9		2(2)		УО	5
Каскадный ускоритель. Принцип действия. Устройство. Разновидности схем каскадных умножителей. Параметры.	10	4				
4. Линейные резонансные ускорители.						
Линейные ускорители электронов. Принцип действия. Устройство. Параметры.	11	2		Подготовка к дискуссии /8нед/2час		
Линейные ускорители ионов. Принцип действия. Устройство. Параметры.	11	2				
Дискуссия по теме: Проектирование линейных ускорителей электронов.	12		1(1)	Подготовка к КР/4нед/2час	УО, Д	5
КР-2 по разделам 3, 4	12		1		КР	5
5. Диагностика пучков заряженных частиц						
Измерение заряда. Измерение тока и локальной плотности тока.	13	2				
Измерение полной энергии в пучке. Измерение энергетического спектра. Диагностика положения пучка.	14	2		Подготовка к семинару /14нед/2час		
Семинар: Диагностика пучков заряженных частиц.	15		2(2)	Подготовка презентации по реферату /8-15нед/2 час	УО	5
Защита рефератов по предложенным темам	16		4(4)			10
Зачёт	17			Подготовка к зачету/16 нед/6 часа		50
Итого	17	32	16	24		
Бально-рейтинговая система (максимальное количество баллов за семестр)						
Посещаемость						5
Кол-во баллов за работу в семестре: 2 КР – 10 баллов; 5 ИФ – 25 баллов Р (ИФ)– 10 баллов						45
Зачет						50
Итого за семестр						100

4.3 Планы практических занятий

Цель практических занятий – закрепить основные (базовые) понятия и определения изучаемой темы посредством подготовки к дискуссиям, практическим занятиям; приобрести начальные навыки решения типовых задач по изучаемой теме посредством выполнения практических работ.

1. Продольная устойчивость движения частиц (3 неделя).

Практическое занятие проводится в форме дискуссии, максимальная оценка 5 баллов

Вопросы: Продольная устойчивость движения частиц. Принцип автофазировки. Равновесная частица. Условие Векслера для линейных резонансных ускорителей, для циклических ускорителей с постоянным во времени магнитным полем, с переменным во времени магнитным полем. Представление процесса ускорения на фазовой плоскости. Структура фазовых траекторий. Сепаратрисса, продольный аксептанс, захват частиц в ускорение.

2. Оптимизация параметров электронных пушек (7 неделя).

Практическое занятие проводится в форме семинара, максимальная оценка 5 баллов.

Вопросы: Электронная эмиссия - термоэмиссия, автоэмиссия, плазменная (в том числе взрывная) эмиссия, фотоэмиссия. Основные характеристики катодов на основе каждого из видов эмиссии. Электронные пушки. Формирование пучков. Первеанс, эмиттанс, яркость пучков.

3. Электростатический ускоритель (ЭСУ). Принцип действия (9 неделя).

Практическое занятие проводится в форме семинара, максимальная оценка 5 баллов.

Вопросы: Электростатический ускоритель (ЭСУ). Принцип действия. Устройство. ЭСУ под давлением, с перезарядкой. Параметры.

4. Проектирование линейных резонансных ускорителей электронов (12 неделя).

Практическое занятие проводится в форме дискуссии, максимальная оценка 5 баллов

Вопросы: Линейные ускорители электронов. Принцип действия. Устройство. Параметры. Основные требования и принципы проектирования.

5. Измерение основных параметров электронных пучков (15 неделя) .

Практическое занятие проводится в форме семинара, максимальная оценка 5 баллов.

Вопросы: Измерение заряда. Измерение тока и локальной плотности тока. Измерение полной энергии в пучке. Измерение энергетического спектра.

4.4 ИНТЕРАКТИВНЫЕ ФОРМЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 2 – Описание занятий в интерактивной форме.

№ недели	Раздел дисциплины (тема)	Интерактивная форма	Кол-во часов	Методы и средства контроля	Максимальный балл
3	Дискуссия по теме: Продольная устойчивость движения частиц.	Дискуссия	2	Педагогическое наблюдение и анализ правильности ответов на вопросы; вопросы, задаваемые по теме; замечания, активности обсуждения и т.п.	5
7	Семинар: Оптимизация параметров	Групповое обсуждение	2	Педагогическое наблюдение и анализ	5

	электронных пушек.			правильности ответов на вопросы; вопросы, задаваемые по теме; замечания, активности обсуждения и т.п.	
9	Семинар: Электростатический ускоритель (ЭСУ). Принцип действия	Групповое обсуждение	2	Педагогическое наблюдение и анализ правильности ответов на вопросы; вопросы, задаваемые по теме; замечания, активности обсуждения и т.п.	5
12	Дискуссия по теме: Проектирование линейных ускорителей электронов	Дискуссия	1	Педагогическое наблюдение и анализ правильности ответов на вопросы; вопросы, задаваемые по теме; замечания, активности обсуждения и т.п.	5
15	Семинар: Диагностика пучков заряженных частиц.	Групповое обсуждение	2	Педагогическое наблюдение и анализ правильности ответов на вопросы; вопросы, задаваемые по теме; замечания, активности обсуждения и т.п.	5
16	Защита рефератов по предложенным темам		4	Педагогическое наблюдение и анализ правильности ответов на вопросы; вопросы, задаваемые по теме; замечания, активности обсуждения и т.п.	10
ИТОГО часов			13		35

5 Самостоятельная работа студентов

Таблица 3 – Календарно-тематический план самостоятельной работы студентов

Номер недели	Номер темы	Задание для СРС	Форма занятий для контроля	Кол-во часов СРС
2	1	Подготовка к дискуссии	Д	2
5	2	Подготовка к семинару	УО	2
7	1, 2	Подготовка к КР	КР	2
9	3	Подготовка к семинару	УО	2
11	4	Подготовка к дискуссии	Д	2
12	3, 4	Подготовка к КР	КР	2
14	5	Подготовка к семинару	УО	2
6-15	1-5	Работа по написанию реферата, подготовка презентации	защита реферата	4
		Подготовка к зачету	зачёт	6
ИТОГО:				24

6 ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ ПО КУРСУ ФИЗИКА И ТЕХНИКА УСКОРИТЕЛЕЙ

Каждый студент в течение семестра должен подготовить 1 реферат. Темы рефератов выдаются на 8 неделе. К 16 неделе студенты усваивают материал курса в полной мере. Защита рефератов проходит на 16 неделе в виде докладов. Все студенты принимают активное участие в обсуждении тем рефератов.

1 Описание системы частиц в фазовом пространстве. Теорема Лиувилля. Адиабатическая теорема.

2 Продольная устойчивость движения частиц. Принцип автофазировки.

3 Источники пучков заряженных частиц. Конструкции электронных пушек.

4 Источники пучков заряженных частиц. Конструкции ионных пушек.

5 Механизм резонансного ускорения.

6 Современные линейные ускорители

7 Линейные резонансные ускорители электронов ВНИИЭФ

7. ВОПРОСЫ К КОНТРОЛЬНЫМ РАБОТАМ ПРИВЕДЕНЫ В ФОС

8. БИЛЕТЫ К ЭКЗАМЕНУ ПРИВЕДЕНЫ В ФОС

3 СЕМЕСТР ОБУЧЕНИЯ

4.2 Разделы учебной дисциплины

1. Сильноточные пучки заряженных частиц и их особенности. Общая схема сильноточных ускорителей. Области применения сильноточных пучков. Уравнения электромагнитного поля и уравнения движения заряженных частиц. Движение заряженной частицы в постоянных однородных полях, в слабонеоднородном магнитном поле. Симметрия электромагнитного поля и законы сохранения.

2. Накопители энергии для сильноточных ускорителей.

Первичные накопители энергии. Электростатические накопители. Индуктивные накопители. Ударные генераторы. Аккумуляторы. Химические ВВ.

Промежуточные накопители энергии. Одинарные формирующие линии (ОФЛ). Двойные формирующие линии (ДФЛ). Многокаскадные формирующие системы на основе ступенчатых линий. Оптимизация параметров формирующих линий: электропрочность формирующих линий, оптимизация геометрий ОФЛ и ДФЛ.

3. Ускорительные диоды для генерации сильноточных пучков заряженных частиц. Генерация мощных электронных пучков. Планарный диод с ведущим магнитным полем. Биполярный режим электронного диода. Коаксиальный и ленточный диоды с магнитной изоляцией. Диод с магнитной самофокусировкой. Генерация мощных ионных пучков. Особенности генерации мощных ионных пучков. Рефлексный триод. Диоды с магнитной изоляцией. Диоды с магнитной самоизоляцией.

4. Транспортировка сильноточных пучков. Предел по собственному объемному заряду. Равновесные состояния аксиально-симметричного пучка. Равновесное состояние ленточного пучка. Мелкомасштабные неустойчивости. Крупномасштабные неустойчивости: диокотронная неустойчивость; неустойчивости частично или полностью нейтрализованных пучков; неустойчивость Будкера-Бунемана.

5. Передающие линии для транспортировки электромагнитной энергии. Вакуумные передающие линии с магнитной изоляцией (МИПЛ). Физические представления о магнитной изоляции. Квазистационарный режим магнитной самоизоляции. Волновой режим магнитной самоизоляции. Структура фронта магнитной изоляции. Эффектив-

ность транспортировки энергии. Сильноточные ускорители на основе линий с магнитной изоляцией. Передающие линии на основе диэлектрических изоляторов и их использование в ускорителях.

6. Линейные индукционные ускорители (ЛИУ). Принцип работы и блок-схема. Пространственное распределение ускоряющего поля. Фокусировка электронного пучка. Безжелезные ЛИУ. Безжелезные линейные индукционные ускорители ВНИИЭФ.

Таблица 1 – Календарно-тематический план занятий и контроля

Раздел учебной дисциплины	Недели	Виды учебной деятельности		Текущий контроль успеваемости	Аттестация раздела	Максимальный Балл за раздел
		Лекции, час	Практика, час (ИФ)			
1. Сильноточные пучки заряженных частиц и их особенности						
Вводная лекция.	1	1				
Области применения сильноточных пучков. Общая схема сильноточных ускорителей.		1				
Уравнения электромагнитного поля и уравнения движения заряженных частиц. Движение заряженной частицы в постоянных однородных полях, в слабонеоднородном магнитном поле. Симметрия электромагнитного поля и законы сохранения.	2	2				
2. Накопители энергии для сильноточных ускорителей						
Первичные накопители энергии. Электростатические накопители. Индуктивные накопители. Ударные генераторы. Аккумуляторы. Химические ВВ. Промежуточные накопители энергии. Одинарные формирующие линии (ОФЛ). Двойные формирующие линии (ДФЛ). Многокаскадные формирующие системы на основе ступенчатых линий.	3	2		Подготовка к дискуссии /3нед/1 час		
Дискуссия по теме: Оптимизация параметров формирующих линий.	4		2(2)	Подготовка к КР/4нед/1 час	УО, Д	5
КР-1 по разделам 1, 2	5		2		КР	5
3. Ускорительные диоды для генерации сильноточных пучков заряженных частиц						
Генерация мощных электронных пучков. Планарный диод с ведущим магнитным полем. Закон «3/2», релятивистский предел закона «3/2». Биполярный режим электронного диода.	6	2		Подготовка к дискуссии /6нед/1 час		
Дискуссия по теме: Электронные диоды с магнитной изоляцией.	7		2(2)		УО, Д	5
Генерация мощных ионных пучков. Особенности генерации мощных ионных пучков. Ре-	8	2		Работа по написанию		

флексный триод. Диоды с магнитной изоляцией. Диоды с магнитной самоизоляцией.				реферата /8-15нед/4 час		
4. Транспортировка сильноточных пучков						
Предел по собственному объемному заряду. Равновесные состояния аксиально-симметричного пучка. Равновесное состояние ленточного пучка. Мелкомасштабные неустойчивости. Крупномасштабные неустойчивости.	9	2		Подготовка к дискуссии /8нед/1час		
Дискуссия по теме: Крупномасштабные неустойчивости.	10		2(2)	Подготовка к КР/4нед/1час	УО, Д	5
КР-2 по разделам 3, 4	11		2		КР	5
5. Передающие линии для транспортировки электромагнитной энергии						
Вакуумные передающие линии с магнитной изоляцией (МИПЛ). Физические представления о магнитной изоляции. Квазистационарный режим магнитной самоизоляции. Волновой режим магнитной самоизоляции. Структура фронта магнитной изоляции. Эффективность транспортировки энергии. Сильноточные ускорители на основе линий с магнитной изоляцией. Передающие линии на основе диэлектрических изоляторов и их использование в ускорителях.	12	2				
6. Линейные индукционные ускорители (ЛИУ)						
Принцип работы и блок-схема. Пространственное распределение ускоряющего поля. Фокусировка электронного пучка. Безжелезные ЛИУ. Безжелезные линейные индукционные ускорители ВНИИЭФ.	13	2		Подготовка к дискуссии /12нед/2час		
Дискуссия по теме: Безжелезные линейные индукционные ускорители ВНИИЭФ.	14		3(3)	Подготовка к КР/4нед/2ч	УО, Д	5
КР-3 по разделам 5, 6	15		1		КР	5
Защита рефератов по предложенным темам	16		2(2)			10
Итого	17	16	16	13		
Бально-рейтинговая система (максимальное количество баллов за семестр)						
Посещаемость						5
Кол-во баллов за работу в семестре: 3 КР – 15 баллов; 4 Д – 20 баллов; Р – 10 баллов						45
Экзамен						50
Итого за семестр						100

4.3 Планы практических занятий

Цель практических занятий – закрепить основные (базовые) понятия и определения изучаемой темы посредством подготовки к дискуссиям, практическим занятиям; приобрести

начальные навыки решения типовых задач по изучаемой теме посредством выполнения практических работ.

1. Оптимизация параметров формирующих линий.

Практическое занятие проводится в форме дискуссии, максимальная оценка 5 баллов

Вопросы: Электропрочность формирующих линий; оптимизация геометрий одинарной коаксиальной формирующей линии для получения максимального значения напряжения в нагрузке, максимального значения мощности в нагрузке; оптимизация геометрий двойной коаксиальной формирующей линии для получения максимального значения напряжения в нагрузке, максимального значения мощности в нагрузке.

2. Электронные диоды с магнитной изоляцией.

Практическое занятие проводится в форме дискуссии, максимальная оценка 5 баллов

Вопросы: коаксиальный диод с магнитной изоляцией; ленточный диод с магнитной изоляцией; диод с магнитной самофокусировкой.

3. Крупномасштабные неустойчивости.

Практическое занятие проводится в форме дискуссии, максимальная оценка 5 баллов

Вопросы: диокотронная неустойчивость; неустойчивость Пирса; неустойчивость Будкера-Бунемана.

4. Безжелезные линейные индукционные ускорители ВНИИЭФ.

Практическое занятие проводится в форме дискуссии, максимальная оценка 5 баллов

Вопросы: ускоритель ЛИУ-2; ускоритель ЛИУ-10; ускоритель ЛИУ-30; ускоритель ЛИУ-10М; ускоритель ЛИУ-Р-Т.

4.4 ИНТЕРАКТИВНЫЕ ФОРМЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 2 – Описание в интерактивной форме.

№ недели	Раздел дисциплины (тема)	Интерактивная форма	Кол-во часов	Методы и средства контроля	Максимальный балл
4	Дискуссия по теме: Оптимизация параметров формирующих линий.	Дискуссия	2	Педагогическое наблюдение и анализ правильности ответов на вопросы; вопросы, задаваемые по теме; замечания, активности обсуждения и т.п.	5
7	Дискуссия по теме: Электронные диоды с магнитной изоляцией.	Дискуссия	2	Педагогическое наблюдение и анализ правильности ответов на вопросы; вопросы, задаваемые по теме; замечания, активности обсуждения и т.п.	5
10	Дискуссия по теме: Крупномасштабные неустойчивости	Дискуссия	2	Педагогическое наблюдение и анализ правильности ответов на вопросы; вопросы, задаваемые по теме; заме-	5

				чания, активности обсуждения и т.п.	
14-15	Дискуссия по теме: Безжелезные линейные индукционные ускорители ВНИИЭФ	Дискуссия	3	Педагогическое наблюдение и анализ правильности ответов на вопросы; вопросы, задаваемые по теме; замечания, активности обсуждения и т.п.	5
16	Защита рефератов по предложенным темам	Групповое обсуждение	2	Педагогическое наблюдение и анализ правильности ответов на вопросы; вопросы, задаваемые по теме; замечания, активности обсуждения и т.п.	10
ИТОГО часов			11		

5 Самостоятельная работа студентов

Таблица 3 – Календарно-тематический план самостоятельной работы студентов

Номер недели	Номер темы	Задание для СРС	Форма занятий для контроля	Кол-во часов СРС
3	2	Подготовка к дискуссии	Д	1
4	1, 2	Подготовка к КР	КР	1
6	3	Подготовка к дискуссии	Д	1
9	4	Подготовка к дискуссии	Д	1
10	3, 4	Подготовка к КР	КР	1
13	6	Подготовка к дискуссии	Д	2
14	5, 6	Подготовка к КР	КР	2
6-15	1-6	Работа по написанию реферата	защита реферата	4
ИТОГО:				13

6 ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ ПО КУРСУ ФИЗИКА И ТЕХНИКА УСКОРИТЕЛЕЙ

Каждый студент в течение семестра должен подготовить 1 реферат. Темы рефератов выдаются на 8 неделе. К 16 неделе студенты усваивают материал курса в полной мере. Защита рефератов проходит на 16 и 17 неделе в виде докладов. Все студенты принимают активное участие в обсуждении тем рефератов.

- 1 Движение заряженной частицы в электромагнитном поле.
- 2 Первичные накопители энергии. Электростатические накопители
- 3 Первичные накопители энергии. Индуктивные накопители
- 4 Первичные накопители энергии. Механические накопители
- 5 Промежуточные накопители энергии. Одинарные формирующие линии.
- 6 Промежуточные накопители энергии. Двойные формирующие линии.

- 7 Диоды для генерации мощных электронных пучков
- 8 Диоды для генерации мощных ионных пучков
- 9 Транспортировка сильноточных пучков заряженных частиц в вакууме
- 10 Равновесные состояния электронных пучков
- 11 Крупномасштабные неустойчивости электронных пучков.
- 12 Установки на основе передающих линий с магнитной изоляцией
- 13 Безжелезные линейные индукционные ускорители ВНИИЭФ

7. ВОПРОСЫ К КОНТРОЛЬНЫМ РАБОТАМ ПРИВЕДЕНЫ В ФОС

8. БИЛЕТЫ К ЭКЗАМЕНУ ПРИВЕДЕНЫ В ФОС

9. Образовательные технологии

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по подготовке студентов для направления (специальности) 03.04.01 "Физика фундаментальных взаимодействий" реализация компетентного подхода к обучению предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов. В рамках учебного курса студенты работают с лекциями, рекомендованной литературой, выполняют домашние задания. В процессе подготовки студенты используют информационные источники, размещенные в сети Интернет (официальные сайты, веб-порталы и веб-представительства организаций, предприятий и учреждений, тематические форумы и телекоммуникации), электронные учебники и учебно-методические пособия.

10. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

- 1 Черняев А.П. Ускорители в современном мире. – М.: Издательство Московского университета, 2012
- 2 Добрецов Ю.П. Ускорители заряженных частиц в экспериментальной физике высоких энергий. – М.: МИФИ, 2008
- 3 Аржанников А.В., Сеницкий С.Л. Мощные импульсные пучки. – Новосибирск. 2012.
- 4 Беломытцев С.Я., Пегель И.В. Физика сильноточных пучков заряженных частиц. – Издательство Томского политехнического университета. 2008
- 5 Винтизенко И.И. Линейные индукционные ускорители. – М.: ФИЗМАТЛИТ. 2016

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 1 Лоусон Дж. Физика пучков заряженных частиц. – М.: Мир, 1980.
- 2 Быстров Ю.А., Иванов С.А. Ускорители и рентгеновские приборы. – М.: Высшая школа, 1976
- 3 Лебедев А.Н., Шальнов А.В. Основы физики и техники ускорителей. М: Энергоатомиздат. 1991

- 4 Милантьев В.П. Физические принципы ускорения заряженных частиц. Учебное пособие. – Москва: РУДН, 2011.
- 5 Хокс П., Каспер Э. Основы электронной оптики, т. 1-2. - М.: Мир, 1993
- 6 Мешков И.Н. Транспортировка пучков заряженных частиц. – Новосибирск: Наука, 1991
- 7 Абрамян Е.А., Альтеркоп Б.А., Кулешов Г.Д. Интенсивные электронные пучки. – М.: Энергоатомиздат. 1984
- 8 Г.А. Месяц. Импульсная энергетика и электроника. - Москва: Наука. 2004
- 9 Соковин С.Ю. Мощная импульсная техника. – Екатеринбург. 2008
- 10 Рухадзе А.А., Богданкевич Л.С., Росинский С.Е., Рухлин В.Г. Физика сильноточных релятивистских электронных пучков. – М.:ЛЕНАНД. 2016
- 11 Высокие плотности энергии: Сборник научных трудов. – Саров 1997, с.107 – 133
- 12 Stanley Humphries, Jr. Charged Particle Beams. – Department of Electrical and Computer Engineering, University of New Mexico, 1990
- 13 Stanley Humphries, Jr. Principles of Charged Particle Acceleration. – Department of Electrical and Computer Engineering, University of New Mexico, 1999

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 1 Труды РФЯЦ-ВНИИЭФ. Разделы: Ускорители; Приборы и техника эксперимента
- 2 Журнал технической физики
- 3 International Symposium on High Current Electronics
- 4 Conference on High-Power Particle Beams (BEAMS)
- 5 IEEE International Pulsed Power Conference (PPC)

11. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Материально-техническое обеспечение включает в себя специально оборудованные кабинеты и аудитории: компьютерные классы, аудитории, оборудование мультимедийными средствами обучения. Аудитория предоставляется по расписанию. Количество мест – не менее 10.

12. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины

Изучение дисциплины «Физика и техника ускорителей» предполагает освоение материалов лекций, выполнение 2 контрольных работ в первом семестре, 2 контрольных работ во втором семестре и 3 контрольных работ в третьем семестре. Предполагается написание и защита одного реферата во втором семестре, одного реферата в третьем семестре

На лекциях раскрываются основные вопросы в рамках рассматриваемой темы, ставятся акценты на наиболее сложных положениях изучаемого материала. Материалы лекции и презентаций используются студентами для подготовки к самостоятельным занятиям.

Выполнение контрольных работ, написание и защита реферата, подготовка к практическому занятию и семинару предусмотрены для закрепления и расширения знаний, умений и навыков, приобретенных в результате изучения дисциплины.

Работа должна носить творческий характер. При ее оценке учитывается обоснованность и оригинальность выводов. В письменной работе студент должен полно и всесторонне рассмотреть все аспекты задания, четко сформулировать и аргументировать свою позицию по исследуемым вопросам.

РП составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки (специальности) 03.04.01 Прикладная математика и физика специализация "Физика фундаментальных взаимодействий".

13 Контрольно-измерительные материалы

Текущий и итоговый контроль знаний студентов:

- посещаемость занятий;
- участие в дискуссиях, выполнение КР, написание и защита реферата по предложенной теме;
- сдача зачетов и экзамена по билетам.

Оценка знаний по 100-бальной шкале в соответствии с критериями СарФТИ НИЯУ МИФИ реализуется следующим образом:

Таблица 4 - Критерии оценки знаний студентов

Сумма баллов по дисциплине	Оценка (ECTS)	Критерии оценивания
90 – 100	A	«Отлично» - теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов. Необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы. Все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены. Качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному.
85-89	B	«Очень хорошо» - теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов. Необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы. Все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены. Качество выполнения большинства из них оценено числом баллов, близким к максимальному.
75-84	C	«Хорошо» - теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно. Все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены. Качество выполнения ни одного из них оценено минимальным числом баллов. Некоторые виды заданий выполнены с ошибками.
65-74	D	«Удовлетворительно» - теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера. Необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено. Некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки.
60-64	E	«Посредственно» - теоретическое содержание курса освоено частично. Некоторые практические навыки работы не сформированы. Многие предусмотренные программой обучения учебные задания не выполнены, либо качество выполнения некоторых из них оценено числом баллов, близким к минимальному.
Ниже 60	F	«Неудовлетворительно» - очень слабые знания, недостаточные для понимания курса, имеется большое количество основных ошибок и недочетов.

Лист регистрации изменений

