

**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 ускорителей



**Рабочая программа дисциплины
ОСНОВЫ УСКОРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ**

направление подготовки: **03.04.02 Физика**
направленность (профиль): **Все профили подготовки**

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	5	6	7	8	9	10	11	12
2	144	32	32		58	18	2			2
Всего 144 часа /4 зачетных единицы из них: - контактная работа 68 часов										
Компетенции: ОПК-1										

Руководитель программы
д.ф.-м.н.

И. Б. Логашенко

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.	4
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.	9
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	10
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	10
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	10
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	10
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	11

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

Задачей курса «**Основы ускорительной техники**» является ознакомление студентов магистратуры физического факультета с основными видами ускорителей заряженных частиц, с принципами их действия, составом и применением.

Цель курса - дать магистрантам базовые знания об ускорителях заряженных частиц. Данные знания должны помочь понимать и ориентироваться в ускорителях, особенно используемых в медицинских целях. Курс лекций должен сформировать у студентов понимание основных физических принципов, на которых основано ускорение заряженных частиц, понимать конструкцию ускорителей и особенности их использования. Кроме этого, студенты должны будут получить представление о мировом опыте использования ускорителей заряженных частиц для различных целей. На основе полученного материала возможно будет дальнейшее более глубокое изучение вопросов, связанных с ускорительной техникой, самостоятельно или на профильных кафедрах Физического факультета НГУ.

Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося общепрофессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<p>ОПК-1. Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности.</p>	<p>ОПК - 1.1. Применяет фундаментальные знания и новейшие достижения физики для решения научно-исследовательских задач в избранной области.</p> <p>ОПК - 1.2. Применяет современные экспериментальные и теоретические методы, информационные технологии для решения поставленных научно-исследовательских задач.</p>	<p>Знать методы и способы постановки и решения задач физических исследований в области ускорительной техники; знать базовые разделы ускорительной техники: основные понятия, модели, законы и теории; теоретические и методологические основы физики ускорителей и способы их использования при решении научно-инновационных задач.</p> <p>Уметь самостоятельно ставить и решать конкретные задачи научных исследований в области ускорительной техники; уметь решать типовые учебные задачи по основным разделам ускорительной техники; применять полученную теоретическую базу для решения научно-инновационных задач.</p> <p>Владеть элементарными навыками постановки и решения задач научных исследований в области ускорительной техники; основными методами научных исследований с использованием ускорительной техники.</p>

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «**Основы ускорительной техники**» реализуется в весеннем семестре для магистрантов, обучающихся по направлению подготовки 03.04.02 Физика. Курс является дисциплиной по выбору, реализуемой кафедрой физики ускорителей. Для его восприятия требуется предварительная подготовка по таким физическим дисциплинам как электродинамика, механика и теория относительности, а также по математике (основы математического анализа, дифференциальные уравнения). Курс, в первую очередь, предназначен для магистрантов, область будущей профессиональной деятельности которых работа с ускорителями заряженных частиц, включая исследования с использованием синхротронного излучения и медицинские применения ускорителей.

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.

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	5	6	7	8	9	10	11	12
2	144	32	32		58	18	2			2
Всего 144 часа /4 зачетные единицы из них: - контактная работа 68 часов										
Компетенции: ОПК-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, практические занятия, консультации, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью заданий, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: опрос по материалам лекций, задания для самостоятельного решения

- промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоёмкость рабочей программы дисциплины составляет 4 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 32 часа;
- практические занятия – 32 часа;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 58 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 68 часов.

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

Дисциплина «Основы ускорительной техники» представляет собой полугодовой курс, читаемый в весеннем семестре магистратуры физического факультета НГУ. Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Всего	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			Промежуточная аттестация (в часах)
				Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	
				Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Введение: виды и общая конструкция ускорителей заряженных частиц	1	6	2	2	2	
2.	Электромагнитное поле.	2	8	2	2	4	
3.	Взаимодействие заряженных частиц с электромагнитным полем	3	8	2	2	4	
4.	Ускоряющие структуры на бегущей волне	4	8	2	2	4	
5.	Особенности движения заряженных частиц в структурах на бегущей волне	5	8	2	2	4	
6.	Ускоряющие резонаторы (структуры на стоячей волной)	6	8	2	2	4	
7.	Особенности движения заряженных частиц в структурах на стоячей волне	7	8	2	2	4	
8.	Источники заряженных частиц	8	8	2	2	4	
9.	Магнитные элементы ускорителей: аксиально симметричное поле	9	8	2	2	4	
10.	Магнитные элементы ускорителя: квадрупольные линзы и дипольные магниты	10	8	2	2	4	
11.	Движение заряженных частиц в постоянных фокусирующих элементах	11	8	2	2	4	
12.	Конструкции линейных ускорителей	12	8	2	2	4	
13.	Циклические ускорители с постоянным магнитным полем – циклотроны	13	8	2	2	4	

14.	Циклические ускорители с переменным магнитным полем – синхротроны	14	8	2	2	4	
15.	Дополнительные вопросы ускорительной техники	15-16	12	4	4	4	
16.	Самостоятельная работа в период подготовки к промежуточной аттестации		18				18
17.	Консультации в период промежуточной аттестации		2				2
18.	Экзамен		2				2
ИТОГО:			144	32	32	58	22

Программа и основное содержание лекций (32 часов)

Раздел 1 (2 часа)

Введение: виды и общая конструкция ускорителей заряженных частиц

История возникновения ускорителей заряженных частиц. Виды ускорителей заряженных частиц. Краткое описание возможностей их использования. Элементы ускорителей. Примеры современных ускорителей и ускорительных центров. Примеры современных проектов на основе ускорителей.

Электромагнитное поле

Уравнения Максвелла. Волновые уравнения. Волны в свободном пространстве. Волны при наличии граничных условий. Примеры решений волновых уравнений для простых геометрических форм. Передача мощности. Используемые моды электромагнитного поля в ускорительной технике.

Раздел 2 (2 часа)

Взаимодействие заряженных частиц с электромагнитным полем

Уравнение Лоренса. Релятивистский фактор. Уравнения движения заряженной частицы. Собственные поля пучка заряженных частиц. Кулоновские силы. Набор энергии заряженной частицы. Фундаментальная теорема о нагрузке током пучка резонатора.

Раздел 3 (2 часа)

Ускоряющие структуры на бегущей волне

Фазовая скорость. Групповая скорость. Замедление волн. Пространственные гармоники и виды колебаний. Набор связанных резонаторов. Возбуждение ускоряющей структура на стоячей волне. Структура с постоянным импедансом. Структура с постоянным градиентом. Шунтовое сопротивление.

Раздел 4 (2 часа)

Особенности движения заряженных частиц в структурах на бегущей волне

Выбор моды колебаний. Набор энергий с учетом пространственных гармоник. Движение пучка конечного поперечного размера. Набор энергии в структуре с постоянным импедансом. Набор энергии в структуре с постоянным градиентом. Нагрузка током пучка ускоряющего напряжения. Особенности движения конечного импульса тока пучка.

Раздел 5 (2 часа)

Ускоряющие резонаторы (структуры на стоячей волной)

Общее устройство резонаторов. Мода колебания электромагнитного поля E010. Запасенная энергия резонаторов. Основные характеристики резонаторов. Возбуждение резонаторов. Связь резонаторов с внешней линией. Шунтовое сопротивление. Высшие моды резонаторов. Ускоряющие структуры на стоячей волне.

Раздел 6 (2 часа)

Особенности движения заряженных частиц в структурах на стоячей волне

Набор энергии пучком в резонаторе. Вре́мяпролетный фактор. СВЧ фокусировка. Нагрузка током пучка напряжения резонатора. Особенности движения конечного импульса тока пучка. Представление о «ВЧ гимнастике».

Раздел 7 (2 часа)

Источники заряженных частиц

Эмиссия электронного пучка. Катоды. Электронные пушки. Первенец электронной пушки. Виртуальный катод. Источники ионов. Источники протонов. Источники позитронов.

Раздел 8 (2 часа)

Магнитные элементы ускорителей: аксиально симметричное поле

Векторный потенциал. Аксиально-симметричное магнитное поле. Соленоид. Поле соленоида. Аксиально-симметричное знакопеременное поле постоянных магнитов. Теорема Буша.

Раздел 9 (2 часа)

Магнитные элементы ускорителя: квадрупольные линзы и дипольные магниты

Жесткая фокусировка. Квадрупольная линза. Поле квадрупольной линзы. Дипольный магнит. Поле дипольного магнита. Особенности устройств магнитных элементов ускорителей.

Раздел 11 (2 часа)

Движение заряженных частиц в постоянных фокусирующих элементах

Фокусировка соленоидом. Ларморовская прецессия. Тонкая линза. Фокусировка квадрупольной линзой. ФОДО ячейка. Уравнение движения в периодических фокусирующих каналах. Диаграмма устойчивости. Понятие об огибающей пучка. Движение в дипольных магнитах. Матричный формализм. Параметры Твисса

Раздел 12 (2 часа)

Конструкции линейных ускорителей

Элементы линейных ускорителей. Источники СВЧ мощности. СВЧ нагрузки. Волноводный тракт. Вакуумное волноводное окно. Вывод пучка промышленных и медицинских ускорителей. Примеры использования линейных ускорителей.

Раздел 13 (2 часа)

Циклические ускорители с постоянным магнитным полем – циклотроны

Конструкция циклотронов. Движение частиц в циклотронах. Захват в режим ускорения. Набор энергии в циклотронах. Примеры работающих циклотронов. Использование циклотронов.

Раздел 14 (2 часа)

Циклические ускорители с переменным магнитным полем – синхротроны

Конструкция синхротронов. Движение частиц в синхротронах. Ускорение в синхротронах. Потери энергии на синхротронное излучение. Примеры работающих синхротронов. Использование синхротронов.

Раздел 15 (4 часа)

Дополнительные вопросы ускорительной техники

Особенности проектирования ускорителей. Процесс тренировки СВЧ полем. Пробои СВЧ поля. Вакуумная система ускорителей. Радиационная защита и техника безопасности. Вопросы инжекции и экстракции пучка.

Программа практических занятий (32 часов)

Занятие 1 Применение уравнений электромагнитного поля (2 часа)

Расчет мод основных мод электромагнитного поля для прямоугольного и круглого волноводов H₁₀ и E₀₁; Расчет энергетических и мощностных характеристик для E₀₁ цилиндрического волновода

Занятие 2 Работа с уравнениями движения для заряженных частиц (2 часа)

Вывод уравнений для заряженных частиц с учетом релятивистского фактора для декартовой и цилиндрической систем координат. Получение Кулоновской силы для простых видов пучков. Вывод форм-факторов для равномерного и гауссова пучка для фундаментальной теоремы о нагрузке током пучка.

Занятие 3 Дисперсионное уравнение для набора связанных резонаторов (2 часа)

Вывод дисперсионного уравнения для набора связанных резонаторов. Вывод из дисперсионного уравнения фазовой и групповой скорости. Расчет параметров структуры по выведенным уравнениям

Занятие 4 Учет нагрузки том пучка (2 часа)

Вывод уравнения для нагрузки током пучка; определение энергетического разброса для непрерывного и конечного токов пучка; вывод времени инжекции для компенсации энергетического разброса.

Занятие 5 Расчет характеристик резонаторов (2 часа)

Определение запасенной энергии и мощности потерь для моды E₀₁₀; определение набираемой пучком энергии для моды E₀₁₀; определение нагруженного времени резонатора; определение мощностных и энергетических характеристик резонаторов для разных коэффициентов связи с внешней линией

Занятие 6 Учет нагрузки током пучка (2 часа)

Вывод уравнения переходного процесса с учетом пучка; определение времени инжекции пучка для компенсации энергетического разброса; примеры «ВЧ гимнастики»

Занятие 7 Расчет пучка электронной пушки (2 часа)

Определение переанса пушки; определение просадки потенциала; определение тока эмиссии пучка

Занятие 8 Работа аксиально-симметричным полем (2 часа)

Получение уравнения параксиального луча; вывод теоремы Буша

Занятие 9 Расчет дипольного магнита (2 часа)

Определение силы дипольного магнита для заданного пучка; расчет характеристик дипольного магнита для получения заданной силы

Занятие 10 (2 часа)

Получение уравнения пучка; нахождение области устойчивости; расчет акцептанса канала

Занятие 11 Расчет ФОДО ячейки (2 часа)

Расчет параметров линейного ускорителя

По имеющимся параметрам выходного пучка рассчитать количество ускоряющих резонаторов, набор энергии, необходимую мощность генератора, оценить параметры источника электронов

Занятие 12 Расчет параметров циклотрона (2 часа)

Исходя из заданных параметров выходного пучка рассчитать магнитное поле циклотрона, ускоряющее напряжение, движение пучка, габариты циклотрона

Занятие 13 Оценка параметров синхротрона (2 часа)

Из заданных параметров пучка синхротрона оценить изменение магнитных дипольных полей, потери на синхротронное излучение, часты вращения пучка

Занятие 14 Обсуждение особенностей разработки ускорителей (4 часа)

Получение точностей изготовления резонаторов; оценка параметров системы термостабилизации ускоряющих структур; оценка радиационной защиты

Самостоятельная работа студентов (76 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям	48
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	10
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

5.1 Основная литература

1. Карлинер М. М. Электродинамика СВЧ. Курс лекций. Новосибирск : НГУ, 1999.
2. А.А. Коломенский. Теория циклических ускорителей. М. : Физматгиз, 1962

5.2. Дополнительная литература

3. Атабеков Г. И. Основы теории цепей. М. : Энергия, 1969.
4. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория поля. М. : «Наука», 1988..

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

1. А.Е. Левичев, В.М. Павлов. Линейные СВЧ ускорители. Часть I: электродинамика ускоряющих структур на основе круглого диафрагмированного волновода. Новосибирск: РИЦ НГУ, 2015.
2. А.П. Черняев. Ускорители в современном мире : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 011200-"Физика" и по специальности 010701-"Физика" / А.П. Черняев. Москва : Изд-во МГУ, 2012
3. Л.Л. Гольдин. Физика ускорителей / Л.Л. Гольдин. М. : Наука, 1983
4. Frontiers of Accelerator Technology : Proc.of the Joint US-CERN-JAPAN Intern. School, Hayama/ Tsukuba, 9-18 sept.1996 / Eds.: S.I. Kurokawa, M. Month, S.Turner. Singapore : World Sci., 1999
5. Б.З. Персов . Проектирование экспериментальных установок в примерах и задачах: учебное пособие : М-во образования и науки РФ, Новосиб. нац. исслед. гос. ун-т, Физ. фак., Каф. Радиофизики Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2011
6. Дж. Лоусон. Физика пучков заряженных частиц. М. Мир. 1980
7. *Лебедев А. Н., Шальнов А. В.* Основы физики и техники ускорителей. Второе издание. М. : Энергоатомиздат, 1991.

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

www.jacow.org

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 «Основы ускорительной техники» используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, итоговой 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 успеваемости студента проводится 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 практическом занятии.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ОПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности свободно владеть знаниями в области ускорительной техники и использовать их 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 ОПК-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 итоговой аттестации.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
ОПК - 1.1. Применяет фундаментальные знания и новейшие достижения физики для решения научно-исследовательских задач в избранной области.	Знать методы и способы постановки и решения задач физических исследований в области ускорительной техники; знать базовые разделы ускорительной техники: основные понятия, модели, законы и теории; теоретические и методологические основы физики ускорителей и способы их использования при решении научно-инновационных задач.	Проведение самостоятельных работ, экзамен.
ОПК - 1.2. Применяет современные экспериментальные и теоретические методы, информационные технологии для решения поставленных научно-исследовательских задач.	Уметь самостоятельно ставить и решать конкретные задачи научных исследований в области ускорительной техники; уметь решать типовые учебные задачи по основным разделам ускорительной техники; применять полученную теоретическую базу для решения научно-инновационных задач. Владеть элементарными навыками постановки и решения задач научных исследований в области ускорительной техники; основными методами научных исследований с использованием ускорительной техники.	Проведение самостоятельных работ, экзамен.

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Основы ускорительной техники».

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	ОПК 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 на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ОПК 1.2	Отсутствие минимальных умений.	Продемонстрированы частично ос-	Продемонстрированы все основные умения. Решены	Продемонстрированы все основные умения.

		Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	новые умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	ОПК 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 заданий для самостоятельного решения

1. Рассчитать параметры дипольного магнита для поворота пучка электронов с энергией 1 ГэВ на угол 30 градусов
2. Определить максимально возможный ускоряемый ток в ускоряющей структуре на основе диафрагмированного волновода с постоянным импедансом при условии непрерывности пучка электронов
3. Получить решение для поперечного движения частицы в постоянном аксиально-симметричном магнитном поле при заданных начальных условиях
4. Показать движение протона в циклотроне при заданных магнитном и ускоряющем полях.
5. Рассчитать мощность, необходимую для изменения энергии электрона на 1 МэВ в цилиндрическом резонаторе с собственной добротностью 16000 и частотой 2856 МГц
6. Определить запасенную энергию для моды резонатора E010 цилиндрической формы
7. Получить электромагнитное поле от движущегося непрерывного пучка цилиндрической формы. Получить выражение для потенциала такого пучка в цилиндрической вакуумной камере.
8. Получить частоту Лоуренса при движении в аксиально-симметричном магнитном поле
9. Получить выражение для фазовой и групповой скорости для бесконечного диафрагмированного волновода
10. Определить величину магнитного поля синхротрона для ускорения пучка электронов с энергией 4 ГэВ

Примеры вопросов на экзамен

1. Применение линейных ускорителей заряженных частиц.
2. Виды и особенности линейных ускорителей.
3. Виды и особенности циклических ускорителей.
4. Основные элементы линейного ускорителя.
5. Применение циклических ускорителей.
6. Описание ускорителя типа циклотрон.

7. Описание ускорителя типа синхротрон.
8. Описание основных свойств и принципов источников электронных пучков.
9. Уравнения Максвелла.
10. Критерий устойчивости в периодическом канале с жесткой фокусировкой.
11. Уравнения движения в электромагнитном поле.
12. Описание движения в циклотроне.
13. Замедление волн в периодической ускоряющей структуре.
14. Набор энергии в резонаторе со стоячей волной.
15. Описание движения в аксиально-симметричном магнитном поле.
16. Описание движения в дипольных магнитах.

Пример экзаменационного билета

1. Основные элементы линейного ускорителя.
2. Уравнения движения в электромагнитном поле.
3. Рассчитать параметры дипольного магнита для поворота пучка электронов с энергией 1 ГэВ на угол 30 градусов.

Форма экзаменационного билета представлена на рисунке

<p>МИНОБРНАУКИ РОССИИ</p> <p><i>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)</i></p> <p>Физический факультет</p>
<p>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № _____</p> <p>1.</p> <p>2.</p> <p>3.</p> <p>Составитель _____ /Ф.И.О. преподавателя/ (подпись)</p> <p>«___» _____ 20 г.</p>

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 «Основы ускорительной техники»
по направлению подготовки 03.04.02 Физика
Все профили подготовки**

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