

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЛУГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»

Институт технологий и инженерной механики
Кафедра физики

УТВЕРЖДАЮ

Директор института технологий и
инженерной механики



Могильная Е.П.

« 18 » 04

2023 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«ФИЗИКА УСКОРИТЕЛЕЙ»

По направлению подготовки 03.04.02 Физика

Магистерская программа «Теоретическая и математическая физика»

Луганск 2023

Лист согласования РПУД

Рабочая программа учебной дисциплины «Физика ускорителей» для магистров по направлению подготовки 03.04.02 Физика, магистерская программа Теоретическая и математическая физика – 20 с.

Рабочая программа учебной дисциплины «Физика ускорителей» составлена с учетом Федерального Государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.04.02 Физика, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от «07» августа 2020 года №891.

СОСТАВИТЕЛЬ:

кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры физики
Харченко Е.И.

Рабочая программа дисциплины рассмотрена на заседании кафедры физики
«18» 04 2023 г., протокол № 9

Заведующий кафедрой физики  Корсунов К.А.

Переутверждена: «__» ____ 20__ г., протокол № ____

Директор института технологий и инженерной механики  Могильная Е.П.

Рекомендована на заседании учебно-методической комиссии института технологий и инженерной механики

«18» 04 2023 г., протокол № 3

Председатель учебно-методической комиссии
института технологий и инженерной механики  Ясуник С.Н.

© Харченко Е.И., 2023 год

© ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. ДАЛЯ», 2023 год

Структура и содержание дисциплины

1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

Цель изучения дисциплины «Физика ускорителей» – изложение современных представлений о физических принципах ускорения заряженных частиц, типах и параметрах современных ускорителей, возможностях их использования для решения физических и физико-технических задач; ознакомление с основными направлениями научного и прикладного применения ускорителей и пучков заряженных частиц и ядер в ядерной физике и смежных областях науки и техники;

Задачи изучения дисциплины:

изучить принципы действия современных ускорителей: высоковольтных ускорителей, резонансных ускорителей (линейных и циклических), накопительных колец и ускорителей на встречных пучках (коллайдеров).

изучить принципы действия других ускорителей: бетатрон, микротрон, линейный индукционный ускоритель.

рассмотреть устойчивость движения заряженных частиц в циклических ускорителях: поперечная устойчивость, автофазировка, слабо- и жесткофокусирующие магнитные структуры.

рассмотреть устройства основных систем ускорителей: магнитная система (в том числе, сверхпроводящие магниты), ускоряющая система, системы инжекции и вывода частиц, вакуумная система, каналы транспортировки ускоренных частиц к детекторам.

развить у студентов любознательность и интерес к изучению физики ускорителей;

дать студенту понимание важнейших этапов истории развития физики ускорителей, ее философских и методологических проблем.

2. Место дисциплины в структуре ООП ВО

Дисциплина «Физика ускорителей» входит в Блок 1. Дисциплины (модули) обязательной части учебного плана подготовки студентов по направлению подготовки 03.04.02 Физика (магистерская программа «Теоретическая и математическая физика»).

Для успешного освоения дисциплины необходимо владеть основными физическими теориями и законами в рамках общего курса физики и теоретической физики.

Содержание дисциплины является логическим продолжением содержания дисциплин: «Механика», «Электричество и магнетизм», «Физика ядра и частиц», «Теоретическая механика. Механика сплошных сред», «Электродинамика» и служит основой для освоения дисциплин «Ядерная спектроскопия», «Современные проблемы физики», для прохождения практики по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности, для научно-исследовательской работы и при подготовке магистерской диссертации.

Физика ускорителей находится на стыке наук и объединяет в себе элементы электродинамики, физики плазмы, физики пучков частиц, физики и

техники высоких напряжений, вычислительной физики. В последнее время получение и применение пучков заряженных частиц, особенно сильноточных, вызывает большой интерес. Они применяются в физике плазмы и управляемом термоядерном синтезе, генерации мощного СВЧ и тормозного излучения, в ядерной физике, в медицине и промышленности. В связи с этим понимание принципов и особенностей генерации, ускорения, транспортировки, устойчивости и применения пучков заряженных частиц и сопутствующих излучений является необходимым условием успешной профессиональной деятельности выпускника магистерской программой «Теоретическая и математическая физика».

3. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Перечень планируемых результатов
ОПК-1. Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности	ОПК-1.1. Применяет фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач. ОПК-1.2. Владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности.	Знать: общие принципы действия всех ускорителей заряженных частиц, их классификацию и типы. Уметь: анализировать достоинства и недостатки ускорителей различных типов; способы решения возможных технических проблем. Владеть: основами педагогики, необходимыми для преподавательской деятельности.
ПК-1. Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта	ПК-1.1. Знает основные научные направления и концепции в области физики. ПК-1.2. Знает методы и способы постановки и решения задач физических исследований, принципы действия, функциональные и метрологические возможности современной аппаратуры для физических исследований. ПК-1.3. Умеет самостоятельно ставить и решать конкретные физические задачи научных исследований в области физики с использованием современной аппаратуры и компьютерных технологий. ПК-1.4. Владеет навыками проведения научных исследований в области физики с помощью современных методов и средств, методами обработки и обобщения информации, представления результатов, полученных в процессе решения задач исследования	Знать: основные понятия о пучках частиц и их характеристиках; основные характеристики заряженных частиц и уравнения их движения в электрическом и магнитном полях. Уметь: объяснять свойства пучков заряженных частиц, произведенных различными ускорителями; применять уравнения движения заряженной частицы в электрическом и магнитном полях для расчета основных параметров ускорителей. Владеть: методами расчета основных характеристик заряженных частиц и уравнения их движения в электрическом и магнитном полях; методами расчета основных параметров ускорителей.
ПК-2. Способен принимать участие в разработке	ПК-2.1. Знает новые методы и методические подходы в научно-инновационных исследованиях и	Знать: устройство и параметры ускорителей и основных систем

новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности	инженерно-технологической деятельности в области физики. ПК-2.2. Умет самостоятельно разрабатывать новые методы и методические подходы в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности. ПК-2.3. Умеет планировать и организовывать физические исследования, научные семинары и конференции. ПК-2.4. Владеет современными методами научно-инновационной и научно-исследовательской деятельности.	ускорителей; новые методы в научно-инновационных исследованиях в области физики ускорителей. Уметь: оценивать характеристики ускорителей различных типов с учетом их назначения; планировать и организовывать физические исследования в области физики ускорителей. Владеть: навыками поиска и критического анализа новой информации по ускорительным комплексам и новых физических методов, приборов и устройств для их исследования и прикладного применения пучков заряженных частиц.
---	--	--

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Объем учебной дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Объем часов (зач. ед.)	
	Очная форма	Заочная форма
Общая учебная нагрузка (всего)	144 (4 зач. ед)	Не предусмотрена
Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего) в том числе:	56	-
Лекции	28	-
Семинарские занятия	-	-
Практические занятия	28	-
Лабораторные работы	-	-
Курсовая работа (курсовой проект)	-	-
Другие формы и методы организации образовательного процесса (<i>расчетно-графические работы, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинг, компьютерные симуляции, интерактивные лекции, семинары, анализ деловых ситуаций и т.п.</i>)	-	-
Самостоятельная работа студента / форма контактной работы	61 / 27	-
Форма аттестации	экзамен	-

4.2. Содержание разделов дисциплины

Семестр 3

Тема 1. Основные понятия в физике и технике ускорителей.

Общие сведения о выборе энергии ускорителей и частицах, используемых для ускорения. Единицы и масштабы. Выбор энергии ускорителей.

Тема 2. Физические основы ускорения частиц.

Основные физические механизмы ускорения частиц. Высоковольтное ускорение. Индукционное ускорение. Принцип резонансного ускорения. Частицы, используемые для ускорения.

Тема 3. Автофазировка.

Фазовая устойчивость. Условия равновесного движения. Принцип автофазировки. Движения равновесной частицы в линейном и циклических ускорителях. Ускорители с постоянным по времени магнитным полем и меняющимся радиусом равновесной орбиты. Ускорители с постоянным радиусом равновесной орбиты и переменным магнитным полем. Фазовые колебания неравновесных частиц.

Тема 4. Описание системы частиц в фазовом пространстве.

Описание поведения системы частиц в фазовом пространстве. Адиабатическая теорема. Фазовая плоскость и фазовые траектории. Теорема Лиувилля. Адиабатическая теорема. Представление процесса ускорения на фазовой плоскости.

Тема 5. Проблемы устойчивости.

Методы фокусировки пучков заряженных частиц. Устойчивость в аксиально-симметричном поле. Аксептанс и эмиттанс.

Тема 6. Расчет систем знакопеременной фокусировки.

Принцип сильной фокусировки. Условие устойчивости бетатронных колебаний в периодической системе. Общая матрица перехода для однородного участка магнитной системы.

Тема 7. Простейшая сильнофокусирующая циклическая система.

Влияние ускоряющего поля на фокусировку. Расчет простейшей сильнофокусирующей циклической системы. Влияние ускоряющего высокочастотного поля на фокусировку и методы компенсации дефокусировки.

Тема 8. Циклические ускорители с постоянным полем.

Циклотрон и фазотрон. Изохронные циклотроны. Кольцевые ускорители с постоянным полем. Микротрон.

Тема 9. Ускорители с постоянным радиусом орбиты.

Синхротрон. Особенности электронных синхротронов. Бетатрон.

Тема 10. Накопительные установки.

Метод встречных пучков. Накопители легких частиц. Накопители тяжелых частиц.

Тема 11. Высоковольтные линейные ускорители.

Ускорители трансформаторного типа. Каскадные ускорители. Электростатические ускорители. Сильноточные импульсные ускорители.

Тема 12. Линейные резонансные ускорители.

Линейные ускорители электронов. Линейные ускорители ионов. Линейный индукционный ускоритель.

4.3. Лекции

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Основные понятия в физике и технике ускорителей	2	-
2	Физические основы ускорения частиц	2	-
3	Автофазировка	2	-
4	Описание системы частиц в фазовом пространстве	2	-
5	Проблемы устойчивости	2	-
6	Расчет систем знакопеременной фокусировки	4	-
7	Простейшее сильнофокусирующая циклическая система	4	-

8	Циклические ускорители с постоянным полем	2	-
9	Ускорители с постоянным радиусом орбиты	2	-
10	Накопительные установки	2	-
11	Высоковольтные линейные ускорители	2	-
12	Линейные резонансные ускорители	2	-
Итого:		28	-

4.4. Практические занятия

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Движение заряженных частиц в электрическом поле	4	-
2	Движение заряженных частиц в магнитном поле	4	-
3	Движение заряженных частиц в однородных параллельных электрических и магнитных полях	4	-
4	Движение заряженных частиц в поперечных взаимно перпендикулярных электрических и магнитных полях	4	-
5	Циклические ускорители с постоянным полем (циклотрон)	4	-
6	Ускорители с постоянным радиусом орбиты (бетатрон)	4	-
7	Фазотрон. Синхротрон. Синхрофазотрон	2	-
8	Линейные ускорители	2	-
Итого:		28	-

4.5. Лабораторные работы по дисциплине «Физика ускорителей» не предполагаются учебным планом.

4.6. Самостоятельная работа студентов

№ п/п	Название темы	Вид СРС	Объем часов	
			Очная форма	Заочная форма
1	Основные понятия в физике и технике ускорителей	Выполнение домашнего задания.	5	-
2	Физические основы ускорения частиц	Выполнение домашнего задания	5	-
3	Автофазировка	Выполнение домашнего задания	5	-
4	Описание системы частиц в фазовом пространстве.	Выполнение домашнего задания.	5	-
5	Проблемы устойчивости	Выполнение домашнего задания.	5	-
6	Расчет систем знакопеременной фокусировки	Выполнение домашнего задания.	6	-
7	Простейшее сильнофокусирующая циклическая система	Выполнение домашнего задания	5	-
8	Циклические ускорители с постоянным полем	Выполнение домашнего задания	5	-
9	Ускорители с постоянным радиусом орбиты	Выполнение домашнего задания	5	-
10	Накопительные установки	Выполнение домашнего задания	5	-
11	Высоковольтные линейные ускорители	Выполнение домашнего задания	5	-
12	Линейные резонансные ускорители	Выполнение домашнего задания	5	-
Итого:			61	-

4.7. Курсовые работы по дисциплине «Физика ускорителей» не предполагаются учебным планом.

5. Образовательные технологии

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих видов образовательных технологий: объяснительно-иллюстративного обучения (технология поддерживающего обучения, технология проведения учебной дискуссии), информационных технологий (презентационные материалы), развивающих и инновационных образовательных технологий.

Практические занятия проводятся с использованием развивающих, проблемных, проектных, информационных (использование электронных образовательных ресурсов (электронный конспект) образовательных технологий.

6. Учебно-методическое и программно-информационное обеспечение дисциплины:

а) основная литература:

1. Кузнецов С.И. Ускорители заряженных частиц. Курс физики с примерами решения задач: учебное пособие / С.И. Кузнецов; Г.Н. Дудкин, В.Н. Забаев. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 45 с.

2. Шпольский Э.В., Атомная физика. Том 1. Введение в атомную физику / Э.В. Шпольский Э.В., – "Лань", 2010. – 560 с.

3. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Учеб. пособие: Для вузов. В 5 т. Т. V. Атомная и ядерная физика / Д. В Сивухин. – М.: ФИЗМАТЛИТ; Изд-во МФТИ, 2006. – 784 с.

4. Иродов, И.Е. Задачи по общей физике / И.Е. Иродов. – М.: Бином; 2002, –448 с.

5. Лебедев А.Н. Основы физики и техники ускорителей / А.Н. Лебедев, А.В. Шальнов. – М.: Энергоиздат, 1991. – 528 с.

б) дополнительная литература:

1. Лебедев А.Н. Основы физики и техники ускорителей / А.Н. Лебедев, А.В. Шальнов. – М.: Энергоиздат, 1991. – 528 с.

2. Лебедев А.Н. Основы физики и техники ускорителей. Т.1. Ускорители заряженных частиц / А.Н. Лебедев, А.В. Шальнов. – М.: Энергоиздат, 1981. – 192 с.

3. Комар Е.Г. Основы ускорительной техники / Е.Г Комар. – М.: Атомиздат, 1975. – 322 с.

4. Гольдин Л.Л. Физика ускорителей / Л.Л. Гольдин. – М.: Наука, 1983. – 142 с.

5. Рябухин Ю.С., Шальнов А.В. Ускоренные пучки и их применение / Ю.С. Рябухин, А.В. Шальнов. – М.: Атомиздат, 1980 – 234 с.

6. Зайцев Л.Н. Основы защиты ускорителей / Л.Н.Зайцев, М.М. Комочков М.М., Б.С. Сычев. – М.: Атомиздат, 1980. – 321 с.

в) методические указания:

1. Конспект лекций по дисциплине «Физика ускорителей» (для студентов, обучающихся по магистерской программе 03.04.02 – «Теоретическая и математическая физика» (в 2-х частях). Часть 1. «Физические основы ускорения частиц» / Сост.: Е.И. Харченко, А.В. Чаленко – Луганск: Изд-во ЛНУ им. В.Даля, 2017. – 43 с. Регистр. № 0752 от 15.11.2017 г.

2. Конспект лекций по дисциплине «Физика ускорителей» (для студентов, обучающихся по магистерской программе 03.04.02 – «Теоретическая и математическая физика» (в 2-х частях). Часть 2. «Основные типы ускорителей и принципы их работы» / Сост.: Е.И. Харченко, А.В. Чаленко – Луганск: Изд-во ЛНУ им. В.Даля, 2017. – 39 с. Регистр. № 0753 от 15.11.2017 г.

3. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Физика ускорителей» (для студентов, обучающихся по направлению подготовки 03.04.02 Физика, магистерская программа «Теоретическая и математическая физика») / Сост.: Е.И. Харченко, А.В. Чаленко, – Луганск: Изд-во ЛНУ им. В. Даля, 2019. – 48 с.

4. Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине «Физика ускорителей» (для студентов, обучающихся по магистерской программе 03.04.02 – «Теоретическая и математическая физика» / Сост.: Е.И. Харченко, А.В. Чаленко – Луганск: Изд-во ЛНУ им. В. Даля, 2017. – 22 с.

г) Интернет-ресурсы:

•Министерство образования и науки Российской Федерации – <http://минобрнауки.рф/>

•Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки – <http://obrnadzor.gov.ru/>

•Министерство образования и науки Луганской Народной Республики – <https://minobr.su>

•Народный совет Луганской Народной Республики – <https://nslnr.su>

•Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования – <http://fgosvo.ru>

•Федеральный портал «Российское образование» – <http://www.edu.ru/>

•Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» – <http://window.edu.ru/>

•Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов – <http://fcior.edu.ru/>

Электронные библиотечные системы и ресурсы

•Электронно-библиотечная система «Консультант студента» – <http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>

•Электронно-библиотечная система «StudMed.ru» – <https://www.studmed.ru>

•Электронный каталог Научно-технической библиотеки ЮРГПУ (НПИ) – <https://libweb.srspu.ru/MegaProWeb/Web>

•Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/register>

•Научная электронная библиотека eLibrary –

Информационный ресурс библиотеки образовательной организации

- Научная библиотека имени А. Н. Коняева – <http://biblio.dahluniver.ru/>

7. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

На лекционных занятиях используются комплекты электронных презентаций / слайдов, раздаточный материал, наглядные пособия в аудиториях, оснащенных презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук).

Практические и лабораторные занятия проводятся в специальных лабораториях, соответствующих действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам.

Программное обеспечение:

Функциональное назначение	Бесплатное программное обеспечение	Ссылки
Офисный пакет	Libre Office 6.3.1	https://www.libreoffice.org/ https://ru.wikipedia.org/wiki/LibreOffice
Операционная система	UBUNTU 19.04	https://ubuntu.com/ https://ru.wikipedia.org/wiki/Ubuntu
Браузер	Firefox Mozilla	http://www.mozilla.org/ru/firefox/fx
Браузер	Opera	http://www.opera.com
Почтовый клиент	Mozilla Thunderbird	http://www.mozilla.org/ru/thunderbird
Файл-менеджер	Far Manager	http://www.farmanager.com/download.php
Архиватор	7Zip	http://www.7-zip.org/
Графический редактор	GIMP (GNU Image Manipulation Program)	http://www.gimp.org/ http://gimp.ru/viewpage.php?page_id=8 http://ru.wikipedia.org/wiki/GIMP
Редактор PDF	PDFCreator	http://www.pdfforge.org/pdfcreator
Аудиоплеер	VLC	http://www.videolan.org/vlc/

8. Оценочные средства по дисциплине «Физика ускорителей»

Паспорт оценочных средств по учебной дисциплине «Физика ускорителей»

Перечень компетенций (элементов компетенций), формируемых в результате освоения учебной дисциплины (модуля) или практики

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Формулировка контролируемой компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Контролируемые темы учебной дисциплины, практики	Этапы формирования (семестр изучения)
1	ОПК-1	Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности	ОПК-1.1, ОПК-1.2	Тема 1. Основные понятия в физике и технике ускорителей.	3
				Тема 2. Физические основы ускорения частиц.	3
				Тема 3. Автофазировка.	3
				Тема 4. Описание системы частиц в фазовом пространстве.	3
				Тема 5. Проблемы устойчивости.	3
				Тема 6. Расчет систем знакопеременной фокусировки..	3
				Тема 7. Простейшая сильнофокусирующая циклическая система.	3
				Тема 8. Циклические ускорители с постоянным полем.	3
				Тема 9. Ускорители с постоянным радиусом орбиты.	3
				Тема 10. Накопительные установки.	3
				Тема 11. Высоковольтные линейные ускорители.	3
				Тема 12. Линейные резонансные ускорители.	3
2	ПК-1	Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных	ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4	Темы 1-12	3

		технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта			
	ПК-2	Способен принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности	ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4	Темы 1-12	3

Показатели и критерии оценивания компетенций, описание шкал оценивания

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Перечень планируемых результатов	Контролируемые темы учебной дисциплины	Наименование оценочного средства
1.	ОПК-1 ОПК-1.1 ОПК-1.2	Знать: общие принципы действия всех ускорителей заряженных частиц, их классификацию и типы. Уметь: анализировать достоинства и недостатки ускорителей различных типов; способы решения возможных технических проблем. Владеть: основами педагогики, необходимыми для преподавательской деятельности.	Темы 1–12	Вопросы экзаменационных работ, контрольные работы.
2	ПК-1 ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-1.4	Знать: основные понятия о пучках частиц и их характеристиках; основные характеристики заряженных частиц и уравнения их движения в электрическом и магнитном полях. Уметь: объяснять свойства пучков заряженных частиц, произведенных различными ускорителями; применять уравнения движения заряженной частицы в электрическом и магнитном полях для расчета основных параметров ускорителей. Владеть: методами расчета основных характеристик заряженных частиц и уравнения их движения в электрическом и магнитном полях; методами расчета основных параметров ускорителей.	Темы 1-12	Вопросы экзаменационных работ, контрольные работы.
3	ПК-2 ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-2.4	Знать: устройство и параметры ускорителей и основных систем ускорителей; новые методы в научно-инновационных исследованиях в области физики ускорителей. Уметь: оценивать характеристики	Темы 1-12	Вопросы экзаменационных работ, контрольные работы

		ускорителей различных типов с учетом их назначения; планировать и организовывать физические исследования в области физики ускорителей. Владеть: навыками поиска и критического анализа новой информации по ускорительным комплексам и новых физических методов, приборов и устройств для их исследования и прикладного применения пучков заряженных частиц.		
--	--	--	--	--

Фонды оценочных средств по дисциплине «Физика ускорителей»

Вопросы к контрольным работам:

1. Введение

1. Перечислите преимущества ускорителей по сравнению с естественными радионуклидами.
2. Какие ускорители были сооружены благодаря открытию принципа автофазировки?
3. Как повлияла на развитие ускорителей сильная фокусировка?
4. В чем заключается идея встречных пучков?
5. Сформулируйте общие требования к ускорителям для физики высоких энергий?
6. Назовите примеры практического применения ускорителей.
7. Чем определяются энергии и токи ускоренных пучков при прикладных применениях?
8. При каких применениях ускорителей используются эффекты ионизации и возбуждения атомного ядра?
9. Приведите пример использования ускорителей, в котором применяется эффект ионизации на молекулярном уровне.
10. Для каких практических целей используют эффект ослабления излучения при прохождении его через вещество?

2. Принципы ускорения

1. Что такое ускорительная трубка?
2. Почему в электростатическом ускорителе энергия ограничена сверху?
3. Зависит ли прирост энергии в индукционном ускорителе от траектории частицы?
4. Чем ограничивается прирост энергии на единицу длины при индукционном ускорении?
5. В чем принципиальная разница между трансформатором и бетатроном?
6. Поясните принцип резонансного ускорения на примере линейного ускорителя с трубками дрейфа.
7. Как осуществляется резонансное ускорение в циклических ускорителях?
8. Сформулируйте требование устойчивости ускорения в резонансных ускорителях.

3. Автофазировка

1. Чем различаются механизмы автофазировки в линейных и циклических ускорителях?
2. Сравните частоту линейных фазовых колебаний в линейном ускорителе с частотой ускоряющего поля. Может ли их отношение превышать единицу?
3. Какой знак имеет «азимутальная эффективная масса» при движении в поле кулоновского типа, например, гравитационном? Как меняется потенциальная и кинетическая энергия, а также частота обращения спутника Земли при его торможении?
4. Какой знак имеет «продольная эффективная масса» при движении в продольном однородном магнитном поле? Зависит ли она от структуры ускоряющего поля?
5. Есть ли автофазировка в «классическом» циклотроне с однородным полем для нерелятивистских частиц? А для релятивистских частиц?
6. Чему равны равновесная энергия и равновесная фаза в циклотроне?

4. Поперечная устойчивость и фокусировка

1. Как изменится орбита в однородном поле, если частица получит мгновенный толчок поперек магнитного поля?
2. Что случится, если такой же толчок частица получит вдоль магнитного поля?
3. Как зависит от координат потенциал дипольной составляющей поля?
4. Почему нельзя строить ускорители на высокую энергию, увеличивая радиус машины, но не усиливая фокусировку?
5. Почему уравнения бетатронных колебаний не меняют вид при переходе к сильной фокусировке?
6. Могут ли уравнения бетатронных колебаний содержать нечетные производные? Почему?
7. Выразите элементы матрицы перехода через амплитудную функцию.
8. Покажите, что попытка уменьшить размер пучка на выделенном азимуте при сохранении силы фокусировки неизбежно ведет к его увеличению на другом азимуте.
9. Можно ли ввести в имеющуюся магнитную систему прямолинейный промежуток, не изменяя частоту бетатронных колебаний? Какие согласующие элементы на входе и выходе промежутка необходимы при этом?
10. Какие трудности возникают при использовании сильной фокусировки в небольших ускорителях?

5. Высоковольтные линейные ускорители

1. Перечислите типы высоковольтных ускорителей.
2. Назовите значения энергий и токов, типичные для ускорителей трансформаторного типа.
3. Каковы значения энергий и токов в каскадных ускорителях?
4. Каковы значения энергий и токов в ЭСУ?
5. В чем идея трансформаторного ускорителя с изолированным сердечником?

6. Охарактеризуйте принцип работы резонансного трансформаторного ускорителя.
7. Что такое каскадный ускоритель?
8. Почему каскады должны быть высоковольтными?
9. В чем преимущество полупроводниковых вентилях по сравнению с электронными лампами в каскадном ускорителе?
10. Для чего увеличивают частоту питания в каскадных ускорителях?

6. Индукционные ускорители

1. Что такое бетатроны?
2. Как записывается бетатронное условие в дифференциальной форме?
3. Напишите бетатронное условие в интегральной форме. Когда его нельзя применять.
4. Перечислите основные преимущества бетатрона с подмагничиванием, его недостатки.
5. Чем ограничивается значение максимальной индукции на орбите бетатрона?
6. Почему камера бетатрона изнутри покрывается проводящим слоем?
7. Из каких физических соображений определяется длительность инжекции в бетатроне?
8. Назовите примерные значения предельной энергии в бетатроне. Чем они обусловлены?

7. Циклические резонансные ускорители

1. Какие соотношения между параметрами частиц важны для их ускорения в классическом циклотроне без изменения режима его работы?
2. Как обеспечивается большое расстояние между соседними орбитами частиц в конце ускорения в классическом циклотроне?
3. Назовите основные достоинства классического циклотрона.
4. Чем отличается синхроциклотрон от классического циклотрона?
5. Как изменяется во времени частота ускоряющего напряжения в классическом циклотроне?
6. Чем ограничивается предельная энергия в синхроциклотроне?
7. Каковы значения энергий и токов ускоренных частиц в действующих синхроциклотронах?
8. Что такое изохронный циклотрон?
9. Поясните принцип действия микротрона.
10. Что такое синхротрон?
11. Как изменяется частота ускоряющего напряжения во времени в синхротроне?
12. Перечислите циклические ускорители с постоянным радиусом орбиты.
13. Перечислите циклические резонансные ускорители.
14. Какие циклические ускорители применяются для ускорения электронов?
15. В каких циклических ускорителях ускоряются тяжелые ионы?
16. Перечислите циклические нерезонансные ускорители.

8. Линейные резонансные ускорители

1. Почему для ускорения электронов используются структуры типа диафрагмированного волновода, а для протонов – системы с трубками дрейфа?
2. Почему все гармоники волны в периодической структуре имеют одинаковую групповую скорость?
3. Каков физический смысл групповой скорости? Сохраняется ли он в системе с большими омическими потерями?
4. При каких условиях шунтовой импеданс теряет смысл как характеристика экономичности системы?
5. Объясните с физической точки зрения зависимость шунтового импеданса на наличие экстремума
6. В чём преимущества систем со стоячей волной?

9. Установки со встречными пучками

1. С чем связана относительно малая доля энергии, идущая на реакцию релятивистской частицы с неподвижной?
2. Получите выражение для эффективной энергии столкновения разных частиц.
3. Под каким углом могут встречаться пучки без существенного изменения энергии взаимодействия?
4. Противоречит ли накопление циркулирующих пучков теореме Лиувилля о сохранении фазовой плотности?
5. Почему охлаждение пучка необходимо для накопителей тяжелых частиц?
6. Будет ли мешать эффекту электронного охлаждения протонного пучка захват электронов протонами?
7. Пересчитайте время электронного охлаждения в лабораторную систему отсчета.
8. Каковы сравнительные достоинства и недостатки методов охлаждения пучка?
9. Чем различаются принципиально линейные и циклические коллайдеры?
10. Какими факторами ограничивается в настоящее время максимальная энергия коллайдеров?

10. Управление ускорителями

1. Назовите основную задачу, решаемую с помощью системы управления ускорителем.
2. Чем объясняется широкое применение ЭВМ в системах управления ускорителями?
3. Определите основы идеологии создания современных ускорителей с автоматизированной системой управления.
4. Перечислите основные удобства работы на пульте управления, создаваемые ЭВМ.
5. Какие типы ЭВМ применяются для управления ускорителями на малые энергии?

6. В чем заключаются основные сложности систем управления большими ускорителями? Назовите пути их преодоления.

7. Как реализуется система управления пучком в мощных синхротронах?

8. Для чего предназначена таймерная система при управлении ускорителем?

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству контрольная работа

Шкала оценивания	Критерий оценивания
отлично (5)	Контрольная работа выполнена на высоком уровне (правильные ответы даны на 90-100% вопросов/задач)
хорошо (4)	Контрольная работа выполнена на среднем уровне (правильные ответы даны на 75-89% вопросов/задач)
удовлетворительно (3)	Контрольная работа выполнена на низком уровне (правильные ответы даны на 50-74% вопросов/задач)
неудовлетворительно (2)	Контрольная работа выполнена на неудовлетворительном уровне (правильные ответы даны менее чем на 50%)

Оценочные средства для промежуточной аттестации (экзамен)

Теоретические вопросы

1. Ускорители заряженных частиц. Зачем нужны, типы (линейные и циклические), применение, требования к ускорителям.

2. Магнитная система ускорителей: назначение и функции, основные характеристики магнитных элементов, способы исполнения.

3. Магнитная система ускорителей: фокусирующие свойства магнита с однородным полем, магнит с градиентом, краевое поле магнита, магнитная линза, соленоид.

4. Движение частицы в магнитной системе: уравнение движения частицы в магнитном поле ускорителя.

5. Движение частицы в магнитной системе: матричная форма решения уравнения движения. Матрицы перехода различных элементов. Матричный метод анализа устойчивости движения.

6. Движение частицы в магнитной системе: замкнутое решение уравнения движения. Связь бетатронной функции с матричными элементами.

7. Движение частицы в магнитной системе: слабая фокусировка (на примере азимутально-симметричного случая), сильная фокусировка.

8. Движение частицы в магнитной системе: анализ бетатронного движения на фазовой плоскости. Фазовый объем пучка.

9. Движение частицы в магнитной системе: адиабатическое затухание бетатронных колебаний.

10. Движение частицы в магнитной системе: резонансы.

11. Ускорение заряженных частиц: зависимость параметров орбиты от энергии частицы.

12. Ускорение заряженных частиц: резонансный режим ускорения, принцип автофазировки.

13. Ускорение заряженных частиц: уравнение фазового движения.

14. Ускорение заряженных частиц: анализ синхротронного движения, фазовая плоскость, сепаратриса.
15. Ускорение заряженных частиц: адиабатическое затухание синхротронных колебаний.
16. Синхротронное излучение: свойства.
17. Синхротронное излучение: движение частиц в присутствии излучения.
18. Синхротронное излучение: декременты затухания продольных и поперечных колебаний.
19. Синхротронное излучение: возбуждение колебаний за счет излучения.
20. Синхротронное излучение: установившийся размер пучка.
21. Охлаждение пучков заряженных частиц: стохастическое охлаждение.
22. Охлаждение пучков заряженных частиц: электронное охлаждение.
23. Инжекция и выпуск частиц: основные проблемы и требования.
24. Инжекция и выпуск частиц: однооборотная инжекция.
25. Инжекция и выпуск частиц: многооборотная инжекция.
26. Инжекция и выпуск частиц: последовательное заполнение фазового пространства (stacking). Инжекция со смещением по фазе синхротронных колебаний.
27. Инжекция и выпуск частиц: быстрый и медленный (резонансный) выпуск частиц из циклического ускорителя.
28. Инжекция и выпуск частиц: каналы транспортировки.
29. Влияние пространственного заряда на некогерентные бетатронные колебания. Накопление ионов.
30. Влияние пространственного заряда встречного пучка.
31. Влияние пространственного заряда на некогерентные синхротронные колебания. Понятие о когерентных неустойчивостях.
32. Накопители заряженных частиц: инжекция и накопление (радиационное охлаждение, стохастическое и электронное охлаждение).
33. Установки со встречными пучками: светимость, ограничение светимости эффектами встречи.
34. Особенности ускорителей различных типов (линейные и циклические ускорители).
35. Особенности ускорителей различных типов (циклотрон, бетатрон, микротрон, синхротрон).

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству промежуточный контроль (экзамен)

Шкала оценивания	Критерий оценивания
отлично (5)	Студент глубоко и в полном объеме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.
хорошо (4)	Студент знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и

	навыками при выполнении практических задач.
удовлетворительно (3)	Студент знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно чёткие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30% ошибок в излагаемых ответах.
неудовлетворительно (2)	Студент не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Студент отказывается от ответов на дополнительные вопросы

Лист изменений и дополнений

№ п/п	Виды дополнений и изменений	Дата и номер протокола заседания кафедры (кафедр), на котором были рассмотрены и одобрены изменения и дополнения	Подпись (с расшифровкой) заведующего кафедрой (заведующих кафедрами)