

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
ФИЛИАЛ МГУ В Г. ДУБНЕ



УТВЕРЖДАЮ
И.о. директора
филиала МГУ в г.Дубне
/ Э.Э. Боос /
« 14 » 09 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Введение в теорию ускорителей

Уровень высшего образования:

Магистратура

Направление подготовки:

03.04.02 Физика

Направленность (профиль) ОПОП:

Фундаментальная и прикладная ядерная физика

Форма обучения: Очная форма обучения

Дубна 2022 г.

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки программы магистратуры 03.04.02 «Физика».

Год (годы) приема на обучение _____

Авторы–составители:

1. к.ф.-м.н. Сидорин Анатолий Олегович, почасовик МГУ
2. д.ф.-м.н. академик РАН Трубников Г.В., по совместительству заведующий кафедрой физического факультета МГУ

Руководитель магистерской программы:

Доктор физ.-мат. наук, академик РАН Г.В. Трубников, по совместительству заведующий кафедрой физического факультета МГУ

Аннотация к рабочей программе дисциплины «Введение в теорию ускорителей»

Основной целью изучения дисциплины «Введение в теорию ускорителей» является обучение основным представлениям о физике ускорителей заряженных частиц; формирование представлений о физических основы методов ускорения заряженных частиц; получение базовых знаний об ускорительной технике; формирование навыков расчета основных параметров ускорителей различных типов, а также проектирования и расчета радиационной защиты.

Разделы рабочей программы

1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО).
2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (при наличии)
3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями
4. Формат обучения.
5. Язык обучения.
6. Содержание дисциплины.
7. Объем дисциплины
8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий
9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.
10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).
11. Шкала оценивания.
12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.
13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.
14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Введение в теорию ускорителей» реализуется на 1-ом курсе в 1-ом семестре магистратуры и входит в состав профессионального блока вариативной части.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия

Базовые знания в области общей и теоретической физики в объеме классических университетских курсов.

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции	Результаты обучения
МПК-2 Способен ставить, формализовать и решать задачи в области фундаментальной и прикладной ядерной физики	ИМПК-2.2 Знает специфику организации научной деятельности в области фундаментальной и прикладной ядерной физики	Знать: общие устройство, принцип работы ускорителей, их типы и области применения. Уметь: планировать эксперимент на ускорителе для решения задач ядерной физики и их исследования, и оценивать его адекватность. Владеть: знаниями о технике безопасности при работе с ускорителями и источниками радиационного излучения.
МПК-1 Способен решать практические задачи профессиональной деятельности в области фундаментальной и прикладной ядерной физики на основе фундаментальных знаний	ИМПК-1.3 Умеет выполнять следующие операции в рамках решения задач профессиональной деятельности: модельные расчеты свойств атомных ядер и сечений ядерных реакций, моделирование экспериментальных установок, проведение измерений и анализ экспериментальных данных	Знать: методы и модели, используемые в физике ускорителей. Уметь: применять известные методы и модели для количественного описания задач в физике ускорителей. Владеть: способностью анализировать результаты эксперимента

3. **Форма обучения:** очная.

4. **Язык обучения:** русский.

5. Содержание дисциплины

Тема 1. Введение.

Хронология развития ускорительной физики и техники. Ускорители в современной науке и промышленности. Ускорение в электростатических, вихревых и высокочастотных электрических полях. Принципиальные схемы ускорителей. Светимость ускорителя. Области использования ускорителей в фундаментальной науке и различных отраслях жизнедеятельности человека.

Тема 2. Ускорители прямого действия.

Ускорители трансформаторного типа. Каскадные ускорители. Электростатические ускорители.

Тема 3. Циклические ускорители. Поперечная устойчивость и фокусировка Поперечная устойчивость и фокусировка. Фокусировка неоднородным магнитным полем.

Критерий устойчивости и бетатронные колебания в периодических системах. Простейшие элементы фокусирующей системы. Описание системы частиц в фазовом пространстве, теорема Лиувилля, инвариант Куранта-Снайдера, эмиттанс пучка.

Тема 4. Индукционное ускорение. Бетатрон.

Индукционное ускорение. Бетатрон. Линейный бетатрон (линейный индукционный ускоритель).

Тема 5. ВЧ - ускорение. Автофазировка в циклических ускорителях.

Автофазировка в циклических ускорителях: равновесная частица, принцип автофазировки, фазовые колебания, эффективная масса и критическая энергия.

Тема 6. Возмущения и допуски в циклических ускорителях.

Резонансы бетатронных колебаний, параметрический резонанс, резонансы связи, нелинейные резонансы. Синхротронные колебания при наличии возмущений.

Тема 7. Методы охлаждения пучков заряженных частиц в циклических ускорителях.

Радиационное, электронное, ионизационное (мюонное) и стохастическое охлаждение.

Тема 8. Пространственный заряд и когерентные неустойчивости.

Статические эффекты пространственного заряда; некогерентный сдвиг частоты бетатронных колебаний (формула Ласлетта). Когерентные колебания пучка. Инкременты когерентных неустойчивостей. Импеданс цилиндрической камеры. Критерий Кайла-Шнелля). Затухание Ландау и другие кинетические эффекты. Неустойчивости в цепочке малых сгустков. Другие виды когерентных неустойчивостей.

Тема 9. Типы циклических резонансных ускорителей.

Типы циклических резонансных ускорителей. Описание и конструкция. Магниты и их питание. Ускоряющие системы. Циклические ускорители с постоянным магнитным полем (циклотрон, синхроциклотрон, микротрон). Циклический ускоритель с постоянной орбитой - синхротрон.

Тема 10. Линейные резонансные ускорители.

Основные характеристики ускоряющих систем. Особенности систем со стоячей волной. Диафрагмированный волновод. Резонатор с трубками дрейфа.

Тема 11. Динамика частиц в линейных резонансных ускорителях.

Продольное движение в поле волны. Предгруппировка частиц. Фокусировка частиц в линейных резонансных ускорителях.

Тема 12. Эффекты пространственного заряда в линейных ускорителях.

Продольное движение в самосогласованном поле. Нагрузка током и оптимизация параметров ускорителя. Влияние кулоновского поля.

Тема 13. Конструкция и параметры линейных ускорителей.

Линейные резонансные ускорители электронов. Линейные ускорители ионов. Сверхпроводящие линейные ускорители.

Тема 14. Ускорители со встречными пучками.

Метод встречных пучков. Накопление легких частиц. Накопление тяжелых частиц. Ускорительно-накопительные комплексы. Линейные коллайдеры. Сильноточные электронные и ионные пучки. Импульсные источники мощности. Сильноточные диоды. Транспортировка сильноточных пучков.

Тема 15. Источники заряженных частиц.

Электронные пушки. Ионные источники на основе высоковольтного разряда. ЭЦР-источники. Лазерные ионные источники. Ионные источники с электронным пучком-ионизатором. Источники поляризованных ионов.

Тема 16. Новые методы ускорения.

Ускорение электронных колец. Лазерные и плазменные методы ускорения. Синхротронное излучение. Лазеры на свободных электронах.

Тема 17. Радиационная защита ускорителей.

Вакуум в ускорителях. Радиационная защита ускорителей: Взаимодействие частиц с остаточным газом в ускорителе: ионизационные потери и их флуктуации (straggling); однократное и многократное рассеяние. Типичные вакуумные условия в различных ускорителях. Радиационная защита ускорителей.

7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	в за че тн ы х Тру дое ин мко иц сть ах	объем учебной нагрузки в ак. часах					
		Общая трудо е мко сть	в том числе ауд.занятий				Самост оятельн ая рабо та студент ов
			Общая ауди то р ная нагру з ка	Ле кц ий	Се ми нар ов	Учебн о- практи ческие заняти я	
Введение в теорию ускорителей	2	72	36	18	18	-	36

8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Изучение курса «Введение в теорию ускорителей» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса; семинарские занятия, предусматривающие углубленное изучение и обсуждение вопросов, обозначенных в темах дисциплины; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным и семинарским занятиям. Темы, рассматриваемые на лекциях и изучаемые самостоятельно, закрепляются на семинарских занятиях, по вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

№ тем ы		Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы					Само стоя тель на я ра бо та	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
		Вс его ча со в	Л е к ц и и	С е м и н а р ы	Учебно-практические занятия (лабораторные или практические занятия)			
1	Введение	4	1	1		2		
2	Ускорители прямого действия	4	1	1		2		
3	Циклические ускорители. Поперечная устойчивость и фокусировка Поперечная устойчивость и фокусировка. Фокусировка неоднородным магнитным полем	4	1	1		2		
4	Индукционное ускорение. Бетатрон.	4	1	1		2		
5	ВЧ - ускорение. Автофазировка в циклических ускорителях	4	1	1		2		
6	Возмущения и допуски в циклических ускорителях	4	1	1		2		
7	Методы охлаждения пучков заряженных частиц в циклических ускорителях	4	1	1		2		
8	Пространственный заряд и когерентные неустойчивости.	4	1	1		2		
9	Типы циклических резонансных ускорителей.	4	1	1		2		
10	Линейные резонансные ускорители	4	1	1		2		
11	Динамика частиц в линейных резонансных ускорителях.	4	1	1		2		

12	Эффекты пространственного заряда в линейных ускорителях	4	1	1		2	
13	Конструкция и параметры линейных ускорителей.	6	2	2		2	
14	Ускорители со встречными пучками	3	1	1		1	
15	Источники заряженных частиц	3	1	1		1	
16	Новые методы ускорения	3	1	1		1	
17	Радиационная защита ускорителей	3	1	1		1	
	Промежуточная аттестация	6				6	экзамен
ИТОГО:		72	1 8	1 8		36	

ДЗ- домашнее задание, Оп- опрос, КР- контрольная работа, Т- тестирование

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Введение в теорию ускорителей» осуществляется на лекциях и семинарских занятиях и заключается в оценке активности и качества участия в опросах и собеседованиях по проблемам, изучаемых в рамках тем лекционных занятий, аргументированности позиции; оценивается широта используемых теоретических знаний.

Результаты сдачи экзамена оцениваются по шкале «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

Перечень оценочных средств, применяемых на каждом этапе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине, представлены в таблице

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
Оценочные средства текущего контроля		
Тематический опрос (в форме ответов на вопросы)	Средство контроля, организованное как специальная беседа по тематике предыдущей лекции и рассчитанное на выяснение объема и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Собеседование (в форме беседы, дискуссии по теме)	Средство контроля, организованное как свободная беседа, дискуссия по тематике изучаемой дисциплины, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по всем изученным разделам, темам; свободного использования терминологии для аргументированного выражения собственной	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины

	позиции.	
Тестирование	Средство контроля, позволяющее получить оценку уровня фактических знаний аспиранта по изученной теме.	Образцы тестов
Оценочные средства промежуточной аттестации		
Письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	Перечень вопросов к экзамену
Собеседование	Средство, позволяющее получить экспертную оценку знаний, умений и навыков по для оценивания и анализа различных фактов и явлений в своей профессиональной области.	Требования к порядку проведения собеседования

11. Шкала оценивания.

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	2/ не зачтено	3/ зачтено	4/ зачтено	5/ зачтено
ЗНАТЬ: общие устройство, принцип работы ускорителей, их типы и области применения. ИМПК-2.2 3-1	Отсутствие знаний общего устройства, принципа работы ускорителей, их типов и областей применения.	В целом успешные, но не систематически знания общего устройства, принципа работы ускорителей, их типов и областей применения.	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знания общего устройства, принципа работы ускорителей, их типов и областей применения.	Успешные и систематические знания общего устройства, принципа работы ускорителей, их типов и областей применения.
ЗНАТЬ: методы и модели, используемые в физике ускорителей. ИМПК-1.3 3-1	Отсутствие знаний методов и моделей, используемых в физике ускорителей.	В целом успешные, но не систематически знания методов и моделей, используемых в физике ускорителей.	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знания методов и моделей, используемых в физике ускорителей.	Успешные и систематические знания методов и моделей, используемых в физике ускорителей.
УМЕТЬ:	Отсутствие	В целом	В	Успешное и

планировать эксперимент на ускорителе для решения задач ядерной физики и их исследования, и оценивать его адекватность.	умения планировать эксперимент на ускорителе для решения задач ядерной физики и их исследования, и оценивать его адекватность.	успешное, но не систематическое умение планировать эксперимент на ускорителе для решения задач ядерной физики и их исследования, и оценивать его адекватность.	целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение планировать эксперимент на ускорителе для решения задач ядерной физики и их исследования, и оценивать его адекватность.	систематическое умение планировать эксперимент на ускорителе для решения задач ядерной физики и их исследования, и оценивать его адекватность.
УМЕТЬ: применять известные методы и модели для количественного описания задач в физике ускорителей.	Отсутствие умения применять известные методы и модели для количественного описания задач в физике ускорителей.	В целом успешное, но не систематическое умение применять известные методы и модели для количественного описания задач в физике ускорителей.	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение применять известные методы и модели для количественного описания задач в физике ускорителей.	Успешное и систематическое умение применять известные методы и модели для количественного описания задач в физике ускорителей.
ВЛАДЕТЬ: знаниями о технике безопасности при работе с ускорителями и источниками радиационного излучения.	Отсутствие/фрагментарное владение знаниями о технике безопасности при работе с ускорителями и источниками радиационного излучения.	В целом успешное, но не систематическое владение знаниями о технике безопасности при работе с ускорителями и источниками радиационного излучения.	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение знаниями о технике безопасности при работе с ускорителями и источниками радиационного излучения.	Успешное и систематическое владение

			излучения.	
ВЛАДЕТЬ: способностью анализировать результаты эксперимента	Отсутствие/фрагментарное владение способностью анализировать результаты эксперимента	В целом успешное, но не систематическое владение способностью анализировать результаты эксперимента	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение способностью анализировать результаты эксперимента	Успешное и систематическое владение способностью анализировать результаты эксперимента

12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

Задачи можно найти по адресу:

13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

Зачет проводится в форме письменной работы.

Материалы промежуточной аттестации обучающихся

Вопросов к экзамену:

1. Ускорители заряженных частиц. Назначение, применение, типы ускорителей.
2. Магнитная система ускорителей.
3. Фокусировка магнитным полем.
4. Уравнение движения частицы в магнитном поле ускорителя.
5. Матричная форма решения уравнения движения. Матрицы перехода различных элементов. Матричный метод анализа устойчивости движения.
6. Замкнутое решение уравнения движения. Связь бетатронной функции с матричными элементами.
7. Слабая и сильная фокусировка
8. Анализ бетатронного движения на фазовой плоскости. Фазовый объем пучка.
9. Зависимость параметров орбиты от энергии частицы.
10. Резонансный режим ускорения. Принцип автофазировки.
11. Анализ синхротронного движения, фазовая плоскость, сепаратриса.
12. Синхротронное излучение
13. Стохастическое охлаждение пучков.
14. Электронное охлаждение пучков.
15. Влияние пространственного заряда на некогерентные бетатронные колебания. Накопление ионов.
16. Влияние пространственного заряда встречного пучка.
17. Влияние пространственного заряда на некогерентные синхротронные колебания. Понятие о когерентных неустойчивостях.

18. Ускорители со встречными пучками: светимость, ограничение светимости эффектами встречи.
19. Особенности ускорителей различных типов (линейные и циклические ускорители).
20. Особенности ускорителей различных типов (циклотрон, бетатрон, микротрон, синхротрон).

14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

Основная литература

1. А.Н. Лебедев, А.В. Шальнов "Основы физики и техники ускорителей", М.:Энергоатомиздат, 1991.
2. И.Н. Мешков, Е.М. Сыресин "Ускорители заряженных частиц в ядерной физике и физике высоких энергий", Лекции для молодых ученых, ОИЯИ, 1998.
3. И.Н. Мешков, "Транспортировка пучков заряженных частиц", Новосибирск, "Наука", 1991.

Дополнительная литература

1. Ю.М. Адо, С.М. Варзарь, А.П. Черняев "Введение в физику ускорителей. Задачи", изд-во МГУ, 1999
2. Коломенский А.А. "Физические основы методов ускорения заряженных частиц", М.: Издательство МГУ, 1980

При реализации дисциплины может быть использовано следующее программное обеспечение:

1. Операционная система Astra Linux (<https://astralinux.ru/>) или аналог, с офисным пакетом, с пакетами разработчика.

Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

1. База данных РИНЦ (российский индекс научного цитирования) <http://www.elibrary.ru>

Материально-техническое обеспечение

В соответствии с требованиями п. 5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика», курс может быть прочитан в поточной аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.