

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
ядерной физики
 Кадменский С.Г.
30.06.2021г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.06 Ускорители заряженных частиц

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

03.03.02 Физика

2. Профиль подготовки/специализация: Физика наноматериалов и новых медицинских технологий

3. Квалификация выпускника: бакалавр

4. Форма обучения: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: кафедра ядерной физики

6. Составители программы: к.т.н., доцент Гитлин Валерий Рафаилович

7. Рекомендована: НМС Физического факультета ВГУ протокол № 6 от 26.06.2020 г.

8. Учебный год: 2023-2024

Семестр(ы): 7

9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целью изучения дисциплины является получение знаний о физике ускорителей заряженных частиц, представления принципов построения и управления техникой ускорения заряженных частиц.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Курс " Ускорители заряженных частиц в ядерной и медицинской физике " относится к блоку Б1. Является дисциплиной вариативной части. Дисциплина «Экспериментальные методы ядерной и медицинской физики» является предшествующей этой дисциплине.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Планируемые результаты обучения
ПК-4	способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин	Знать: — основы теории ускорения частиц в циклических и линейных ускорителях; — основные принципы построения и конструирования, особенности эксплуатации всех существующих типов ускорителей; Уметь: применять пакеты прикладных программ для моделирования процессов в ускорителях; Владеть: готовностью участвовать в разработке способов применения электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении научных, технических и технологических задач.

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. (в соответствии с учебным планом) — 3/108.

Форма промежуточной аттестации зачет

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
			7
Аудиторные занятия			
в том числе:	лекции		
	практические		
	лабораторные	34	34
Самостоятельная работа		38	38
Форма промежуточной аттестации			
зачет			
Итого:		72	72

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
1. Лекции			
1.1	История ускорительной техники		
1.2	Характеристики пучков	Кинематика релятивистских частиц	
1.3	Критерии устойчивости движения частиц в процессе ускорения	Фокусировка пучка. Автофазировка Описание пучка в фазовом пространстве. Устойчивость продольных колебаний частиц.	
1.4	Основные типы ускорителей	Высоковольтные ускорители. Индукционные ускорители. Циклотрон. Фазотрон. Изохронный циклотрон. Микротрон. Синхротрон. Коллайдеры.	
1.5	Ускорители в научных исследованиях	Ускорители в ядерной физике. Ускорители в физике элементарных частиц. Получение на ускорителях пучков вторичных частиц.	
1.6	Ускорители в промышленности	Радиационные технологии с использованием ускорителей заряженных частиц.	
2. Лабораторные занятия			
2.1	История ускорительной техники		
2.2	Характеристики пучков	Кинематика релятивистских частиц	
2.3	Критерии устойчивости движения частиц в процессе ускорения	Фокусировка пучка. Автофазировка Описание пучка в фазовом пространстве. Устойчивость продольных колебаний частиц.	
2.4	Основные типы ускорителей	Высоковольтные ускорители. Индукционные ускорители. Циклотрон. Фазотрон. Изохронный циклотрон. Микротрон. Синхротрон. Коллайдеры.	
2.5	Ускорители в научных исследованиях	Ускорители в ядерной физике. Ускорители в физике элементарных частиц. Получение на ускорителях пучков вторичных частиц.	
2.6	Ускорители в промышленности	Радиационные технологии с использованием ускорителей заряженных частиц.	

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего

1	История ускорительной техники			5	6	11
2	Характеристики пучков			5	6	11
3	Критерии устойчивости движения частиц в процессе ускорения			6	6	12
4	Основные типы ускорителей			6	6	12
5	Ускорители в научных исследованиях			6	7	13
6	Ускорители в промышленности			6	7	13
	Итого:			34	38	72

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

- изучение учебной, научной и методической литературы, материалов периодических изданий с привлечением электронных средств научной информации;
- подготовка к лабораторным занятиям, оформление отчетов.

Данная программа реализуется с учетом следующих принципов: современной научной целесообразности, нелинейности, учебной и исследовательской автономии студентов.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Черняев А. П. Ускорители в современном мире : [учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению 011200 - "Физика" и по специальности 010701 - "Физика"] / А. П. Черняев. — Москва : Изд-во Московского университета, 2012 .
2	Винтизенко, И.И. Линейные индукционные ускорители / И.И. Винтизенко. - Москва: Издательство Физматлит, 2015. - 303 с. - ISBN 978-5-9221-1637-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=467578 (18.01.2018).

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3	Ишханов Б.С. Частицы и атомные ядра/ Б.С.Ишханов, И.М.Капитонов, Н.П.Юдин. - М.: Изд-во Моск.ун-та,2005.-250 с.
4	Лебедев А.Н. Основы физики и техники ускорителей / А.Н. Лебедев, А.Н. Шальнов. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
5	Коломенский А.А. Физические основы методов ускорения заряженных частиц /А.А. Коломенский – М.: Изд-во МГУ, 1980.
6	Мешков И.Н. Ускорители заряженных частиц в ядерной физике и физике высоких энергий / И.Н. Мешков, Е.М. Сыресин; ОИЯИ, Препринт Р1-98-162. – Дубна, 1998.
7	Ускорители заряженных частиц: учеб. пособие для студентов 5-6 курсов физ. фак. / М.Н.Левин, В.Р. Гитлин – Воронеж: ЛОП ВГУ, 2003 – Ч. 1: Введение. Принципы управления пучками.

8	Ускорители заряженных частиц: учеб. пособие для студентов 5-6 курсов физ. фак. / М.Н.Левин, В.Р. Гитлин – Воронеж: ЛОП ВГУ, 2003 – Ч. 2: Классификация и основные типы ускорителей.
9	Мешков И.Н. Транспортировка пучков заряженных частиц в ядерной физике / И.Н. Мешков. – Новосибирск: Наука, 1991.
10	Адо Ю.М. Введение в физику ускорителей. Задачи / Ю.М. Адо, С.М. Варзарь, А.П., Черняев. – М. : Изд-во МГУ, 1999.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет) *:

№ п/п	Ресурс
11	www.lib.vsu.ru
12	Левин, М.Н. Ускорители заряженных частиц: Учеб. пособие по спец. 010400, 014100, 510400 для студентов 5-6 курсов физ. фак. / М.Н.Левин, В.Р.Гитлин. — Воронеж, 2003.— Ч. 1. - Введение. Принципы управления пучками. - 24 с.
13	Левин, М.Н. Ускорители заряженных частиц: Учеб. пособие по спец. 010400, 014100, 510400 для студентов 5-6 курсов физ. фак. / М.Н.Левин, В.Р.Гитлин. — Воронеж, 2003.— Ч. 2. - Классификация и основные типы ускорителей. - 28 с.
14	https://edu.vsu.ru – Электронный университет ВГУ

* Вначале указываются ЭБС, с которыми имеются договора у ВГУ, затем открытые электронно-образовательные ресурсы, онлайн-курсы, ЭУМК

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных), курсовых работ и др.)

№ п/п	Источник
15	Левин, М.Н. Ускорители заряженных частиц: Учеб. пособие по спец. 010400, 014100, 510400 для студентов 5-6 курсов физ. фак. / М.Н.Левин, В.Р.Гитлин. — Воронеж, 2003. — Ч. 1. - Введение. Принципы управления пучками. - 24 с.
16	Левин, М.Н. Ускорители заряженных частиц: Учеб. пособие по спец. 010400, 014100, 510400 для студентов 5-6 курсов физ. фак. / М.Н.Левин, В.Р.Гитлин. — Воронеж, 2003. — Ч. 2. - Классификация и основные типы ускорителей. - 28 с.

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

При проведении занятий по дисциплине используются следующие образовательные технологии:

- активные и интерактивные формы проведения занятий;
- компьютерные технологии при проведении занятий;
- презентационные материалы и технологии при объяснении материала на лекционных занятиях;
- специализированное оборудование при проведении лабораторных работ;
- разбор конкретных ситуаций при постановке целей и задач к разработке прикладных программ, при выборе программного обеспечения по установленным критериям, при разработке программ по предусмотренным алгоритмам и методам

Для самостоятельной работы используется ЭБС Университетская библиотека online - www.lib.vsu.ru - ЗНБ ВГУ. Программное обеспечение, применяемое при реализации дисциплины – Microsoft Windows, LibreOffice, CodeBlocks, Adobe Reader, Mozilla FireFox.

Дистанционные образовательные технологии (ДОТ) применяются с использованием образовательного портала «Электронный университет ВГУ».

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Наименование помещений для проведения всех видов учебной деятельности, предусмотренной учебным планом, в том числе помещения для самостоятельной работы, с указанием перечня основного оборудования, учебно-наглядных пособий и используемого программного обеспечения	Адрес (местоположение) помещений для проведения всех видов учебной деятельности, предусмотренной учебным планом (в случае реализации образовательной программы в сетевой форме дополнительно указывается наименование организации, с которой заключен договор)
Учебный лабораторный стенд "Изучение взаимодействия заряженных частиц с веществом. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа: компьютер, мультимедиа-проектор, экран	г. Воронеж, Университетская площадь, д.1, ауд. № 32 г. Воронеж, Университетская пл., 1, ауд. 320

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Оценочные средства
1.		ПК-4	Устный опрос
2.			Устный опрос
3.			Устный опрос
4.			Устный опрос
Промежуточная аттестация форма контроля – зачет			КИМ

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Перечень практических заданий

Для оценки качества освоения дисциплины при проведении контролирующих мероприятий предусмотрены следующие средства (фонд оценочных средств):

1. Вопросы входного контроля.

Входной контроль осуществляется заданием простых задач, для решения которых достаточно знаний, полученных в курсе «Физика». Пример:

Задача № 1

Простейшим фильтром для скоростей заряженных частиц является комбинация электрического и магнитного полей, направленных так, чтобы они отклоняли пролетающие частицы в противоположных направлениях. Определить напряженность электрического поля в таком фильтре для пропускания электронов с энергией 1 МэВ, если напряженность магнитного поля равна 20 эрст.

Задача №2

Покоившийся электрон начинает двигаться под действием однородного магнитного поля с напряженностью 100 В/см. Определить кинетическую энергию W , которую он приобрел, и пройденный путь за время 1 мкс.

Задача №3

Электрон начинает движение без начальной скорости в однородном электрическом поле, напряженность которого линейно возрастает во времени со скоростью 20 МВ/см²·с. Какую кинетическую энергию приобретает электрон, пройдя путь 10 см, если в момент начала движения напряженность поля равна нулю. Какова напряженность поля в конце пути электрона?

Задача №4

Пучок электронов, ускоренных разностью потенциалов 1 кВ, проходит в вакууме через два больших конденсатора, отстоящих друг от друга на $l=20$ см. В обоих конденсаторах синфазно возбуждается переменное поле от одного генератора. Изменением частоты генератора добиваемся, чтобы пучок электронов проходил эту систему без отклонения. Определить отношение заряда к массе электрона, если две последовательные частоты равны 141 МГц и 188 МГц.

2. *Контрольные вопросы, задаваемые при выполнении и защите лабораторных работ.*

3. *Контрольные вопросы, задаваемые при проведении практических занятий.*

4. *Вопросы, выносимые на зачёты и экзамены.*

5. *Вопросы для текущего контроля и самоконтроля.*

Для оценивания результатов обучения на зачете используются следующие показатели (ЗУНы из 19.1):

- 1) знание учебного материала и владение понятийным аппаратом дисциплины;
- 2) умение связывать теорию с практикой;
- 3) умение иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;
- 4) умение применять полученные знания на практике

Для оценивания результатов обучения на экзамене используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Для оценивания результатов обучения на зачете используется – зачтено, не зачтено
Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенции	Шкала оценок
---------------------------------	--------------------------------------	--------------

Полное соответствие ответа обучающегося всем перечисленным критериям. Продemonстрировано знание основы теории ускорения частиц в циклических и линейных ускорителях; основные принципы построения и конструирования, особенности эксплуатации всех существующих типов ускорителей. умение применять пакеты прикладных программ для моделирования процессов в ускорителях. владение методиками разработок способов применения электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении научных, технических и технологических задач.	Повышенный уровень	Зачтено
Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым трем из перечисленных показателей. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки в ответе.	–	Не зачтено

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Перечень вопросов к зачету

1. Какие ускорители называют ускорителями прямого действия? Основным признаком ускорителя прямого действия?
2. С какой целью УПД помешают в сжатый газ?
3. Зачем секционируются металлическими электродами ускорительные трубки?
4. Перечислить известные Вам ускорители прямого действия.
5. Нарисовать упрощенную блок-схему сильноточного импульсного ускорителя.
6. Для чего в роторном генераторе используется неподвижный статор?
7. Как получают высокое напряжение в электростатическом генераторе?
8. Что является причиной бетатронных колебаний частиц в ускорителях?
9. Записать формулы для частот вертикальных и радиальных бетатронных колебаний.
10. Сформулировать условие устойчивости орбиты частиц в ускорителях со слабой фокусировкой.
11. Как осуществляется "мягкая" фокусировка магнитным полем?
12. Пояснить механизм "жесткой" фокусировки.
13. Сформулируйте условия, при которых работает механизм автофазировки.
14. В каких ускорителях имеет место автофазировка частиц?
15. Нужна ли автофазировка в изохронном циклотроне?
16. Что описывает фазовая диаграмма?
17. Чем отличаются вынужденные колебания частиц от свободных?
18. Почему в линейных резонансных ускорителях электронов на энергию несколько ГэВ автофазировка отсутствует, а при низких энергиях имеет место?
19. Какие типы резонансов Вы знаете?
20. Чем ограничивается предельная энергия частиц, которая может быть получена в циклотроне?
21. Чем отличается фазотронный режим ускорения от циклотронного?
22. Почему в кольцевые ускорители необходимо инжектировать частицы с достаточно большой начальной энергией?
23. Чем отличаются режимы работы электронного и протонного синхротронов?
24. Что такое "критическая энергия" для синхротронов?

25. Почему нельзя ускорять тяжелые частицы в микротроне?
26. Что называется режимом "кратного" ускорения и в каком ускорителе он реализуется?
27. Как влияет синхротронное излучение на режим ускорения электронов в синхротроне?
28. Что такое ондуляторное излучение?
29. Чем отличаются плоский и спиральный ондуляторы?
30. Какие устройства используются для получения синхротронного излучения?
31. Как осуществляется вертикальная фокусировка частиц в изохронном циклотроне?
32. Как осуществляется "жесткая" фокусировка в кольцевых ускорителях?
33. Записать условие постоянства радиуса равновесной орбиты в бетатроне.
34. Какие элементы включает в себя магнитная структура с разделёнными функциями жёскофокусирующих синхротронов?
35. Зачем необходимо выполнять условие «2:1» в бетатроне?
36. Что называют фазовой неоднородностью магнитного поля и каковы причины ее возникновения?
37. Чем отличаются ускоряющие системы электронных и протонных линейных резонансных ускорителей?
38. Зачем нужна группировка электронов в сгустки в линейном резонансном ускорителе электронов?
39. Как называется ускоряющее устройство в линейном индукционном ускорителе?
40. Каково устройство и назначение банчера?
41. Почему линейные ускорители с бегущей волной не используются для ускорения тяжелых частиц?

Описание технологии проведения

Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе, текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме(ах) (указать нужное): устного опроса (индивидуальный опрос, фронтальная); письменных работ (лабораторные работы и пр.); тестирование.

Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний и практические задания, позволяющие оценить степень сформированности умений и навыков. При оценивании используются количественные. Критерии оценивания приведены выше.