


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

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
ядерной физики

 / Титова Л.В./  
13.06.2024г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.ДВ.01.01 Ускорители заряженных частиц**

**1. Код и наименование направления подготовки/специальности:**

14.03.02 Ядерные физика и технологии

**2. Профиль подготовки/специализация:**

Физика атомного ядра и частиц

**3. Квалификация выпускника: бакалавр**

**4. Форма обучения: очная**

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:**

кафедра ядерной физики

**6. Составители программы:**

к.ф.-м.н., доцент, Гитлин Валерий Рафаилович

**7. Рекомендована:**

Научно – методическим советом физического факультета, протокол №6 от 13.06.2024

**8. Учебный год: 2027/2028**

**Семестр(ы): 7**

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины

*Целями освоения учебной дисциплины являются:*

- получение представления о физике ускорителей заряженных частиц, знания принципов построения и управления техникой ускорения заряженных частиц.

*Задачи учебной дисциплины:*

- изучить методы ускорения заряженных частиц, достижение устойчивости и фокусировки пучка, явление автофазировки, конструкционные особенности и принципы ускорения в линейных ускорителях, циклических ускорителях, циклических индукционных ускорителях, в коллайдерах, использование ускорительной техники в науке и в производстве.

- приобрести умения самостоятельно проводить расчеты ускорения частиц.

- приобрести готовность разрабатывать способы применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина по выбору цикла Б1

## 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	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-6	Способен к монтажу, наладке, настройке, регулировке, испытанию и сдаче в эксплуатацию оборудования и программных средств.	ПК-6.1	Знает элементную базу и принципы работы современных приборов, устройств и систем, используемых в практической деятельности.	<p>Знать: основы теории ускорения частиц в циклических и линейных ускорителях; основные принципы построения и конструирования, особенности эксплуатации всех существующих типов ускорителей.</p> <p>Уметь: применять пакеты прикладных программ для моделирования процессов в ускорителях.</p> <p>Владеть: готовностью участвовать в разработке способов применения электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении научных, технических и технологических задач.</p>

## 12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час —4/144.

Форма промежуточной аттестации – зачет.

### 13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
			7 семестр
Аудиторные занятия		54	54
в том числе:	лекции	36	36
	практические	18	18
	лабораторные		
Самостоятельная работа		90	90
в том числе: курсовая работа (проект)			
Контроль			
Форма промежуточной аттестации		Зачет	Зачет
Итого:		144	144

#### 13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
<b>1. Лекции</b>			
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.	-

#### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)					
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Контроль	Всего
1	История ускорительной техники	6	3		15		24
2	Характеристики пучков	6	3		15		24
3	Критерии устойчивости движения частиц в процессе ускорения	6	3		15		24
4	Основные типы ускорителей	6	3		15		24
5	Ускорители в научных исследованиях	6	3		15		24
6	Ускорители в промышленности	6	3		15		24
	Итого:	36	18		90		144

#### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Изложение материала преподавателем необходимо вести в форме, доступной для понимания. Для улучшения усвоения учебного материала необходимо применять традиционные и современные технические средства обучения. Для самостоятельного изучения отведено время на все разделы курса.

Студентам на лекциях необходимо вести подробный конспект и стараться понять материал курса, не стесняться задавать преподавателю вопросы для углубленного понимания конкретных проблем курса. Для полного понимания материала следует активно использовать консультации. Для самостоятельного изучения разделов курса, рекомендованных преподавателем, необходимо пользоваться основной и дополнительной литературой, интернет-ресурсами.

#### 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].
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.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
6	Коломенский А.А. Физические основы методов ускорения заряженных частиц / А.А. Коломенский – М. : Изд-во МГУ, 1980.
7	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.
8	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.
9	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.
10	Мешков И.Н. Транспортировка пучков заряженных частиц в ядерной физике / И.Н. Мешков. – Новосибирск : Наука, 1991.
11	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
	<a href="http://www.lib.vsu.ru">www.lib.vsu.ru</a> – ЗНБ ВГУ
	<a href="https://edu.vsu.ru">https://edu.vsu.ru</a> – Электронный университет ВГУ

**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
1	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.

**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 и практических 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](http://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:**

Большая физическая аудитория им. М.А. Левитской (для проведения занятий лекционного типа, текущего контроля и промежуточной аттестации) Специализированная мебель, ноутбук 15,6" DNS (0164925), проектор EPSON EB-X11, переносной экран для проектора на штативе SceenMedia Aplo-T Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019. LibreOffice (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: <a href="https://www.libreoffice.org/about-us/licenses/">https://www.libreoffice.org/about-us/licenses/</a> ) Adobe Reader (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: <a href="https://get.adobe.com/ru/reader/legal/licenses">https://get.adobe.com/ru/reader/legal/licenses</a> )	г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.І, ауд. 428
Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования Ноутбук 15,6" DNS (0164925), проектор EPSON EB-X11, переносной экран для проектора на штативе SceenMedia Aplo-T	г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.І, ауд. 31
Аудитория для самостоятельной работы, компьютерный класс с доступом к сети «Интернет»: компьютеры (мониторы, системные блоки) (15 шт.)	г. Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.І, ауд. 313а

## 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)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	История ускорительной техники	ПК-6	ПК-6.1	Практикоориентированные задания, собеседование по билетам к зачету
2.	Характеристики пучков			
3.	Критерии устойчивости движения частиц в процессе ускорения			
4.	Основные типы ускорителей			
5.	Ускорители в научных исследованиях			
6.	Ускорители в промышленности			
Промежуточная аттестация форма контроля - зачет				Пункт 20.2.1 Вопросы к зачету

## 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:

Практикоориентированные задания

#### 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 1МэВ, если напряженность магнитного поля равна 20 эрстед.

#### 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/см\*с. Какую кинетическую энергию приобретает электрон, пройдя путь 10см, если в момент начала движения напряженность поля равна нулю. Какова напряженность поля в конце пути электрона?

#### Задача №4

Пучок электронов, ускоренных разностью потенциалов 1кВ, проходит в вакууме через два больших конденсатора, отстоящих друг от друга на  $l=20$  см. В обоих конденсаторах синфазно возбуждается непереносное 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.

#### Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Полное знание учебно-программного материала на уровне количественной характеристики. Способность самостоятельно ответить на дополнительные корректирующие вопросы преподавателя.	<i>Повышенный уровень</i>	Отлично
Знание основного программного материала на основе качественной характеристики, допускающее погрешности в ответах. Способность самостоятельно ответить на дополнительные корректирующие вопросы преподавателя.	<i>Базовый уровень</i>	Хорошо
Знание основного программного материала на основе качественной характеристики, допускающее погрешности в ответах. Способность скорректировать ответ под руководством преподавателя.	<i>Пороговый уровень</i>	Удовлетворительно
Не знание основного программного материала. Неспособность скорректировать ответ под руководством преподавателя.	–	Неудовлетворительно

## 20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Собеседование по билетам к зачету

### 20.2.1. Перечень вопросов к зачету:

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



38. Как называется ускоряющее устройство в линейном индукционном ускорителе?
39. Каково устройство и назначение банчера?
40. Почему линейные ускорители с бегущей волной не используются для ускорения тяжелых частиц?

Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Полное знание учебно-программного материала на уровне количественной характеристики. Способность самостоятельно ответить на дополнительные корректирующие вопросы преподавателя.	<i>Повышенный уровень</i>	Отлично
Знание основного программного материала на основе качественной характеристики, допускающее погрешности в ответах. Способность самостоятельно ответить на дополнительные корректирующие вопросы преподавателя.	<i>Базовый уровень</i>	Хорошо
Знание основного программного материала на основе качественной характеристики, допускающее погрешности в ответах. Способность скорректировать ответ под руководством преподавателя.	<i>Пороговый уровень</i>	Удовлетворительно
Не знание основного программного материала. Неспособность скорректировать ответ под руководством преподавателя.	—	Неудовлетворительно