

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

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой  
Ядерной физики

 / С.Г. Кадменский

28.08.2019

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### Б1.В.03 Экспериментальные методы ядерной и медицинской физики

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

03.03.02 Физика

2. Профиль подготовки/специализация:

Ядерная физика

3. Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

4. Форма обучения: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:

кафедра ядерной физики

6. Составители программы:

Вахтель В.М., к.ф.-м.н., доцент

7. Рекомендована:

Научно-методическим советом физического факультета, протокол № 6 от 26.06.2019

*РП продлена на 2022-2023 учебный год НМС физического факультета 14.06.2022, протокол №6*

8. Учебный год: 2022/2023

Семестр(ы): 6

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

сформулировать основы знаний и навыков, на которых базируются экспериментальные методы исследований в области ядерной физики. Задачами дисциплины являются изучение основных механизмов взаимодействий излучения с веществом, принципов работы детекторов излучений и основных методов исследования характеристик радиоактивных излучений, распада частиц и сечений реакций.

Основные задачи курса:

- Дать студентам широкое представление о физических принципах наиболее общих методов измерений ионизирующих излучений;
  - Рассмотреть физические процессы в детекторах при прохождении через них ионизирующих излучений;
  - Обратить внимание на принципиальные конструктивные особенности детекторов и их применения;
  - Дать представление о специфике методик ядерно-физического эксперимента вследствие статистического характера процессов образования элементарных частиц и их взаимодействия с веществом.
  - Дать углубленные знания о наиболее эффективных экспериментальных методах исследований физики атомного ядра;
- Показать взаимосвязь различных методов.

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

– Дисциплина «Экспериментальные методы ядерной физики» относится к базовой части профессионального цикла основной образовательной программы подготовки бакалавров направления 03.03.02 Физика. Она базируется на курсах дисциплин, изучаемых в образовательных программах бакалавриата: «Физика», «Математический анализ», «Атомная физика». Дисциплина является предшествующей для таких курсов как: «Ядерные реакции», «Моделирование ядерно-физических процессов».

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

Компетенция		Планируемые результаты обучения
Код	Название	
ПК-4	способностью применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин	Знать: основные понятия и характеристики взаимодействия излучений с веществом, механизмы работы детекторов излучений, характеристики детекторов и основные методы измерения излучений Уметь: применять методы экспериментальной ядерной физики для решения фундаментальных и прикладных задач ядерной физики, оценивать параметры процессов взаимодействий излучений с веществом, выбирать способ регистрации излучений. Владеть: методами определения характеристик излучений, параметров распада ядер и частиц и оптимального выбора режима детекторов.

## 12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 2/72.

Форма промежуточной аттестации зачет.

### 13. Виды учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость	
	Всего	По семестрам
		6 семестр
Аудиторные занятия	17	17
в том числе:	17	17
лекции		
практические		
лабораторные		
Самостоятельная работа	55	55
Форма промежуточной аттестации	Зачет – 0 час	Зачет – 0 час
Итого:	72	72

#### 13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
<b>1. Лекции</b>		
1.1	Введение	Исторический обзор развития экспериментальных методов ядерной физики. Цели и задачи курса. Источники ионизирующих излучений. Виды излучений и их характеристики. Взаимодействие излучений с веществом. Взаимодействие тяжелых заряженных частиц и электронов с веществом. Взаимодействие гамма-излучения и нейтронов с веществом.
1.2	Принципы регистрации ионизирующих излучений.	Ионизационный эффект. Измерение зарядов и токов. Сцинтилляционные процессы. Образование дефектов в кристаллических и аморфных образцах. Калометрия.
1.3	Сцинтилляционный метод регистрации ионизирующих излучений.	Генерация светового излучения в веществе под действием ионизирующих излучений. Типы сцинтилляторов. Механизмы сцинтилляции. Смесители спектров светового излучения. Характеристика сцинтилляторов. Фотоэлектронные умножители. Принцип работы. Типы ФЭУ, их характеристики и параметры. Согласование сцинтиллятора и ФЭУ. Сцинтилляционные детекторы. Аппаратурные спектры гамма-лучей и заряженных частиц. Эффективность, энергетическое и временное разрешение, линейность, стабильность. Детекторы на основе одноканальных умножителей, микроканальные пластины. Детекторы на основе рыхлых детекторов.
1.4	Детекторы релятивистских частиц на основе излучения Вавилова-Черенкова.	Излучение Вавилова-Черенкова. Детекторы.
1.5	Детекторы на основе ионизационного эффекта с газовым наполнением.	Ионизационный эффект в газах. Дрейф и рекомбинация ионов и электронов в газе при электрическом поле. Форма импульса тока и заряда на электродах ионизационной камеры. Характеристики и параметры ионизационных камер. Эффективность, энергетическое и временное разрешение, линейность ионизационных камер.
1.6	Детекторы на основе эффекта газового усиления.	Процесс газового усиления, коэффициент газового усиления. Режимы пропорционального и ограниченно-пропорционального усиления. Режим самостоятельного разряда. Самогасящиеся счетчики. Формирование импульсов тока и заряда на электродах счетчиков с газо-

		вым усилением. Ложные импульсы. Энергетическое и временное разрешение. Эффективность регистрации. Однонитяные и многонитяные (многоэлектродные)_ счетчики. Области их применения. Конструктивные особенности. Искровые счетчики и камеры. Стриммерные камеры. Направление дальнейшего развития.
1.7	Детекторы на основе ионизационного эффекта в полупроводниковых структурах.	Основные положения зонной теории полупроводников. Электрофизические характеристики полупроводниковых материалов. Ионизационный эффект в полупроводниках при воздействии ионизирующих излучений. Принцип работы полупроводникового детектора в сопоставлении с ионизационными камерами. Детекторы на основе инверсионного слоя, р-п-перехода и с р-і-п-структурой. Типы и основные характеристики полупроводниковых детекторов. Особенности спектрометрии тяжелых заряженных частиц, электронов и гамма-квантов. Особенности применения. Направление дальнейшего развития.
1.8	Координатно-чувствительные детекторы.	Принципы определения координат воздействия заряженных частиц или гамма-квантов в рабочем объеме детектора. Газонаполненные и твердотельные детекторы. Детекторы на основе временных и амплитудных соотношений сигналов. Характеристик, конструктивные особенности, области применения. Направление дальнейшего развития.
1.9	Магнитные и электрические анализаторы спектров заряженных частиц.	Магнитные спектрометры с продольным и поперечным магнитным полем. Магнитные спектрометры электронов и тяжелых заряженных частиц. Электростатические спектрометры электронов. Характеристики спектрометров, особенности применения. Направления развития.
1.10	Погрешности измерений и статистические флуктуации измеряемых величин и процессов в детекторах ионизирующих излучений.	Статистические флуктуации в энергетических, временных и угловых спектрах ионизирующих излучений. Статистические флуктуации в ионизационном эффекте. Характеристики шумов детекторов.

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

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1.1	Введение.	1		1	2	4
1.2	Принципы регистрации ионизирующих излучений.	1		1	2	4
1.3	Сцинтилляционный метод регистрации ионизирующих излучений .	1		2	4	7
1.4	Детекторы релятивистских частиц на основе излучения Вавилова-Черенкова.	1		4	4	9
1.5	Детекторы на основе ионизационного эффекта с газовым наполнением.	2		4	4	10
1.6	Детекторы на основе эффекта газового усиления.	2		4	4	10
1.7	Детекторы на основе ионизационного эффекта в полупроводниковых структурах.	1		2	4	7
1.8	Координатно-чувствительные детекторы.	1		2	4	7
1.9	Магнитные и электри-	1		2	4	7

	ческие анализаторы спектров заряженных частиц.				
1.10	Погрешности измерений и статистические флуктуации измеряемых величин и процессов в детекторах ионизирующих излучений.	1	4	4	9
	Итого:	12	24	36	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

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Болоздыня А. И. Детекторы ионизирующих частиц и излучений. Принципы и применения : учеб. пособие / А.И. Болоздыня, И.М. Ободовский .— Долгопрудный : Интеллект, 2012 .— 204 с.
2	<a href="#">Родненков В. Г.</a> Основы радиационной безопасности : для студентов инженерно-технических специальностей: учебное пособие/ В. Г.Родненков.— Минск: <a href="#">ТетраСистемс</a> , 2011.— 208 с. // «Университетская библиотека online: электронно-библиотечная система.— URL: <a href="http://biblioclub.ru">http:// biblioclub.ru</a> » .
3	Малышев Л. Г. , Повзнер А. А. Физика атома и ядра/ Л. Г.Малышев.— Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2014.— 145 с. // «Университетская библиотека online: электронно-библиотечная система.— URL: <a href="http:// biblioclub.ru">http:// biblioclub.ru</a> »

б) дополнительная литература:

№ п/п	Черняев А. П. Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом : учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по специальностям 010400 "Физика" и 014000 "Мед. физика" / А. П. Черняев .— М. : Физматлит, 2004 .— 151 с. (56)
4	<a href="#">Ишханов Б. С.</a> Частицы и атомные ядра : учебник по дисциплине "Физика атом. ядра" для студ. вузов, обуч. по специальностям 010701 - "Физика", 010705 - "Физика атом. ядра и частиц" и направлению 010700 - "Физика" / Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов, Н.П. Юдин ; Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова .— Изд. 2-е, испр. и доп. — М. : URSS : Изд-во ЛКИ, 2007 .— 581 с.
5	Иродов И. Е. Атомная и ядерная физика : Сборник задач : Учеб. пособие для студ. физ. специальностей вузов / И.Е. Иродов .— 8-е изд., испр. — СПб. : Лань, 2002 .— 287 с.
6	Газоразрядный детектор ионизирующих излучений - счетчик Гейгера-Мюллера : учеб. пособие для вузов : [для аудитор. подготовки и самостоят. работы студ. направления 010700 - Физика] / Воронеж. гос. ун-т ; сост. : В.Б. Бруданини др .— Воронеж : Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2012 .— 23 с.
7	Полупроводниковые детекторы в дозиметрии ионизирующих излучений / А. Н. Кронгауз, В. К. Ляпидевский, Ю. Б. Мандельцвайг и др. ; Под ред. В. К. Ляпидевского .— М. : Атомиздат, 1973 .— 177,[2] с.
8	<a href="#">Ляпидевский В. К.</a> Методы детектирования излучений : учебное пособие для студ. физ. и инж.-физ. спец. вузов / В. К. Ляпидевский .— М. : Энергоатомиздат, 1987 .— 404 с.
9	Физика микромира : Маленькая энциклопедия / гл. ред. Д.В. Ширков .— М. : Советская энциклопедия, 1980 .— 527 с.
10	Абрамов А. И. Основы экспериментальных методов ядерной физики : учебное пособие для студ. вузов / А.И. Абрамов, Ю.А. Казанский, Е.С. Матусевич .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Атомиздат, 1977 .— 524 с.
11	Экспериментальные методы ядерной физики : Учебное пособие для физ. и инженер.-физ. фак. вузов / Под ред. М.С. Козодаева .— М. : Наука : Физматлит, 1966
12	Сборник задач по общему курсу физики : в 5 кн. — М. : Физматлит : Лань, 2006-.

	[Кн.] 5: Атомная физика. Физика ядра и элементарных частиц / В.Л. Гинзбург и др.; под ред. Д.В. Сивухина. — Изд. 5-е, стер. — 2006. — 183 с.
13	Акимов Ю. К. Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике / Ю. К. Акимов и др.; Под ред. Ю. К. Акимова. — М. : Энергоатомиздат, 1967. — 252 с.

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

№ п/п	Источник
14	<a href="http://www.lib.vsu.ru">www.lib.vsu.ru</a> – ЗНБ ВГУ
15	<b>Бруданин В.Б. Газоразрядный детектор ионизирующих излучений - счетчик Гейгера-Мюллера учебное пособие для вузов</b> Скачать документ: <a href="http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m12-154.pdf">http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m12-154.pdf</a>

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

№ п/п	Источник
16	<b>Матышев, А.А. Атомная физика : учебное пособие : в 2-х т. / А.А. Матышев. - Санкт-Петербург. : Издательство Политехнического университета, 2014. - Т. 1. - 531 с. : схем., ил., табл. - (Физика в технических университетах). - ISBN 978-5-7422-4209-3 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=362983">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=362983</a> (23.01.2018).</b>

**17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости):**

**18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

Аудитория, компьютер, проектор, экран, маркерная доска.

**19. Фонд оценочных средств:**

**19.1. Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения**

Код и содержание компетенции (или ее части)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	ФОС* (средства оценивания)
ПК способностью применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин	Знать: основные понятия и характеристики взаимодействия излучений с веществом, механизмы работы детекторов излучений, характеристики детекторов и основные методы измерения излучений	1.1 – 1.10	Вопросы КИМ
	Уметь: применять методы экспериментальной ядерной физики для решения фундаментальных и прикладных задач ядерной физики, оценивать параметры процессов взаимодействий излучений с веществом, выбирать способ регистрации излучений.	1.1 – 1.10	Вопросы КИМ
	Владеть: методами определения характеристик излучений, параметров распада ядер и частиц, оптимального выбора режима детекторов.	1.1 – 1.10	Вопросы КИМ
<b>Промежуточная аттестация</b>			КИМ

\* В графе «ФОС» в обязательном порядке перечисляются оценочные средства текущей и промежуточной аттестаций.

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

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 решать;

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

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Знать теоретические основы и уметь принимать рассматриваемые в курсе методы для анализа данных и результатов измерений.	<i>Достаточный</i>	<i>Зачтено</i>
Отсутствие вышеназванных знаний.	<i>Не достаточный</i>	<i>Не зачтено</i>

## 19.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

### 19.3.1 Перечень вопросов к экзамену (зачету):

1. Характеристики аппаратного спектра заряженных частиц
2. Градуировка спектрометров энергий гамма-излучения
3. Спектрометрия гамма-излучения сцинтилляционной методикой
4. Определение относительной активности источников излучений
5. Определение коэффициента внутренней конверсии
6. Альфа-спектрометрия с полупроводниковыми детекторами
7. Индификация типа заряженных частиц на удельной ионизации
8. Особенности спектрометрии осколков делящихся ядер
9. Спектрометрия электронов в присутствии позитронов
10. Определение каскадности переходов
11. Определение мультипольности гамма-переходов
12. Жидкосцинтилляционная спектрометрия
13. Многодетекторные методики спектрометрии излучений
14. Спектрометрия низкоэнергетического излучения
15. Спектрометрические методики определения активности
16. Эффективность регистрации излучений – методы и средства определения
17. Спектрометрия излучений объемных источников
18. Спектрометрия короткоживущих нуклидов
19. Газонаполненные спектрометры тяжелых заряженных частиц
20. Метод спектрометрии ядер отдачи
21. Основные характеристики амплитудно-энергетических спектрометров

### 19.3.2 Перечень практических заданий

### 19.3.4 Тестовые задания

### 19.3.4 Перечень заданий для контрольных работ

### **19.3.5 Темы курсовых работ**

### **19.3.6 Темы рефератов**

## **19.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

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: устного опроса (индивидуальный опрос, фронтальная беседа); письменных работ; 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

При оценивании используются количественная шкала оценок

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ **Б1.В.03 Экспериментальные методы ядерной физики**

Направление 03.03.02 Физика

Профиль подготовки Физика ядра и элементарных частиц (ФГОС3плюс)

Форма обучения: очная

Учебный год 2022/2023

---

Ответственный исполнитель

Заведующий кафедрой

ядерной физики, д.ф.м.н., профессор \_\_\_\_\_ С.Г.Кадменский \_\_. \_\_ 20\_\_

Исполнители

К..м.н., доцент

\_\_\_\_\_ В.М. Вахтель \_\_. \_\_ 20\_\_

СОГЛАСОВАНО

Куратор ООП

по направлению

К.ф.м.н.,

доц. кафедры ядерной физики \_\_\_\_\_ Д.Е.Любашевский \_\_. \_\_ 20\_\_

Начальник отдела

обслуживания ЗНБ

\_\_\_\_\_ Белодедова В.М. \_\_. \_\_ 20\_\_

---

Программа рекомендована НМС физического факультета

№ 6 от 26.06.2019