

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.01 Физический практикум по экспериментальным методам**  
**ядерной физики и дозиметрии**

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

14.04.02 Ядерная физика и технологии

**2. Профиль подготовки/специализация:**

Физика атомного ядра и частиц

**3. Квалификация выпускника:** магистр

**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:**

Научно-методическим советом физического факультета, протокол №6 от 24.06.2021.

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

Рабочая программа продлена научно-методическим советом физического факультета от 25.05.2023, протокол №5.

**8. Учебный год:** 2021/2022

**Семестр(ы):** 2

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- получение студентами углубленных знаний о методах исследований и измерений, применяющихся физиками - экспериментаторами, работающими в области ядерной физики и физики элементарных частиц.

Задачи учебной дисциплины:

- освоение студентами наиболее общих методов измерений и обработки экспериментальных результатов, используемых при проведении исследований излучений радиоактивных источников и потоков частиц высокой энергии.

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина вариативной части цикла Б1.В.ОД (Часть, формируемая участниками образовательных отношений)

## 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-2	Готов к созданию новых методов расчета современных физических установок и устройств, разработке методов регистрации ионизирующих излучений, методов оценки количественных характеристик ядерных материалов.	ПК-2.1	Знает методы и средства определения характеристик заряженных частиц, обработки аппаратного спектра.	Знать: методы и средства определения характеристик заряженных частиц, обработки аппаратного спектра  Уметь: оценивать возможности методов и средств измерения характеристик заряженных частиц;  Владеть: навыками оптимального выбора метода обработки аппаратного спектра и анализа экспериментальных данных измерений характеристик заряженных частиц
		ПК-2.2	Оценивает возможности методов и средств измерения характеристик заряженных частиц.	
		ПК-2.6	Формулирует задачи и цели исследований, модифицирует методы измерений под поставленные задачи.	
ПК-6	Способен самостоятельно выполнять экспериментальные или теоретические исследования для решения научных и производственных задач с использованием современной техники и методов расчета и исследования	ПК-6.1	Применяет методы исследования вещества на современных спектрометрах и детекторах, в том числе методы альфа-, бета и гамма- спектроскопии для проведения исследований образцов.	Знать: методы исследования вещества на современных спектрометрах и детекторах;  Уметь: применять методы исследования вещества на современных спектрометрах и детекторах, в том числе методы альфа-, бета и гамма- спектроскопии для проведения исследований образцов  Владеть: навыками проведения измерений на современных спектрометрах и детекторах

	оптимизировани ем методов исследования.			
--	---	--	--	--

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

Форма промежуточной аттестации - зачет с оценкой.

## 13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
			2 семестр
Аудиторные занятия		56	
в том числе:	лекции		
	практические		
	лабораторные	56	56
Самостоятельная работа		88	88
в том числе: курсовая работа (проект)			
Форма промежуточной аттестации		Зачет с оценкой	Зачет с оценкой
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. Лабораторные занятия</b>			
1	Прохождение излучения через вещество	Терминология. Типы взаимодействия излучения с веществом	-
2	Виды ионизирующих излучений	Альфа-, бета-, гамма- и нейтронное излучение. Их источники	-
3	Основы дозиметрии	Экспозиционная доза. Электронное равновесие. Поглощенная доза. Керма и сема	-
4	Детекторы излучений	Газоразрядный счётчик, основные характеристики, режимы работы	-
5	Детекторы излучений	Сцинтилляционный детектор, определение основных характеристик	-
6	Детекторы излучений	Полупроводниковый детектор, определение основных характеристик	-
7	Обработка результатов	Основные сведения о статистической обработке результатов измерений, исследование распределений Гаусса и Пуассона	-
8	Источник альфа-излучения	Исследование основных свойств источника альфа-излучения	-
9	Источник бета-излучения	Исследование основных свойств источника бета-излучения	-
10	Источник гамма-излучения	Исследование основных свойств источника гамма-излучения	-
11	Базовые схемы усиления и обработки сигнала	Изучение основных схем усиления и обработки сигналов, АЦП, использование компьютерной	-

		техники, компьютерная обработка и хранение данных.	
12	Многодетекторные системы	Начальные сведения о многодетекторных системах, их назначении, принципах работы	-

### 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.	Прохождение излучения через вещество			4	7	11
2.	Виды ионизирующих излучений			4	7	11
3.	Основы дозиметрии			4	8	12
4.	Детекторы излучений			4	8	12
5.	Детекторы излучений			5	8	13
6.	Детекторы излучений			5	8	13
7.	Обработка результатов			5	7	12
8.	Источник альфа-излучения			5	7	12
9.	Источник бета-излучения			5	7	12
10.	Источник гамма-излучения			5	7	12
11.	Базовые схемы усиления и обработки сигнала			5	7	12
12.	Многодетекторные системы			5	7	12
	Итого:			56	88	144

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

*Методическое обеспечение аудиторной работы:* учебно-методические пособия для студентов, учебники и учебные пособия, электронные и Интернет-ресурсы.

*Методическое обеспечение самостоятельной работы:* учебно-методические пособия по организации самостоятельной работы, контрольные задания и тесты в бумажном и электронном вариантах, тестирующие системы, дистанционные формы общения с преподавателем. Контроль самостоятельной работы реализуется с помощью опросов, тестов, вопросов по темам заданий и т.д.

### 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	Ободовский, И. М. Физические основы радиационных технологий : [учебное пособие] /И.М.Ободовский .— Долгопрудный : Издательский дом Интеллект, 2014 .— 351 с.
2	Болоздыня А. И. Детекторы ионизирующих частиц и излучений. Принципы их применения : учеб. пособ./ А.И. Болоздыня, И.М. Ободовский .— Долгопрудный : Интеллект, 2012 .— 204 с. (10 экз.)

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
1	Трушин Ю.В. Радиационные процессы в многокомпонентных материалах. Теория и компьютерное моделирование / Ю.В.Трушин; Рос. акад. наук, Физико-технический ин-т им. А.Ф. Иоффе .— СПб., 2002 .— 382 с.
2	Брагинский Р.П. Стабилизация радиационно-модифицированных полиолефинов/ Р.П. Брагинский, Э.Э.Финкель, С.С. Лещенко.— М.: Изд-во Химия, 1973, 197 с.

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

№ п/п	Ресурс
1.	www.lib.vsu.ru – ЗНБ ВГУ
2.	https://edu.vsu.ru – 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	Алиев, Р. А.. Радиоактивность : [учеб пособие для студ. вузов, обуч. по направлению ВПО 020100 (магистр химии) и специальности ВПО 020201 - "Фундамент. и приклад. химия"] / Р.А. Алиев, С.Н. Калмыков .— Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2013 - 301с.
2	Ободовский, И. М. Сборник задач по экспериментальным методам ядерной физики : Учебное пособие для студентов физических и инженерно-физических специальностей вузов / И.М. Ободовский .— М. : Энергоатомиздат, 1987 .— 280 с. : ил, табл

**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 - 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:**

Лаборатория (для проведения лабораторных занятий, текущего контроля и промежуточной аттестации (г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.І, ауд. 32).	Специализированная мебель, установка для изучения космических лучей ФПК -01 с телескопом газоразрядных детекторов, установка для изучения космических лучей с телескопом сцинтилляционных детекторов, установка для изучения взаимодействия бета-излучения с веществом (газоразрядный блок детектирования; высоковольтный блок питания ПСО2-08А; пересчетный прибор ПСО2-4), установка для изучения взаимодействия нейтронного излучения с веществом (газоразрядный блок детектирования СИ-8Б; высоковольтный блок; пересчетный прибор ПСО2-4; счетчик импульсов СЧМ-16), установка дозиметрического контроля УИМ2-2 с блоками детектирования БДМГ-08Р и БДБ2-03 Учебный лабораторный стенд "Изучение взаимодействия заряженных частиц с веществом. Учебный лабораторный стенд "Исследование газоразрядного счётчика"
Лаборатория им. Л.Н.	Специализированная мебель, установка для изучения космических лучей

Сухотина (для проведения занятий семинарского типа, текущего контроля и промежуточной аттестации) (г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.1, ауд. 30)	ФПК-01, установка для изучения взаимодействия альфа-излучения с веществом (пульт спектрометрический СЭС-13; полупроводниковый детектор ДКПс-50; предусилитель БУСИ2-50; пересчетный прибор ПС02-4), установки для определения периода полураспада долгоживущего изотопа (2 шт.), установка для изучения взаимодействия бета-излучения с веществом (газоразрядный блок детектирования; высоковольтный блок питания ПСО2-08А; пересчетный прибор ПС02-4), установки для изучения взаимодействия гамма-излучения с веществом (сцинтилляционный блок детектирования БДЭГ2-23; высоковольтный блок ВС-22; пересчетный прибор ПС02-4) (2 шт.), установка дозиметрического контроля УИМ2-2 с блоками детектирования БДМГ-08Р и БДБ2-03.
г. Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.1, ауд. 507П	Аудитория для самостоятельной работы. Специализированная мебель, компьютеры Pentium-II, III (10 шт.), объединенные в локальную сеть с возможностью подключения к сети «Интернет».

## 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.	Темы 1-12	ПК-2	ПК-2.1 ПК-2.2 ПК-2.6	Собеседование, отчеты по лабораторным работам.
2.	Темы 1-12	ПК- 6	ПК – 6.1	Собеседование, отчеты по лабораторным работам.
Промежуточная аттестация форма контроля – зачет с оценкой				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:

Лабораторные работы, коллоквиум, контрольные работы

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Студент отвечает на 2 вопроса и дополнительные вопросы	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично</i>
Студент отвечает на 2 вопроса, имеются неточности, нет ответов на дополнительные вопросы	<i>Базовый уровень</i>	<i>Хорошо</i>
Студент отвечает на 1 вопрос, имеются неточности, отвечает на дополнительные вопросы	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Удовлетворительно</i>
Студент не отвечает ни на вопросы ни на дополнительные вопросы	–	<i>Неудовлетворительно</i>

### 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. 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. Идентификация 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.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Студент отвечает на 2 вопроса и дополнительные вопросы	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично</i>
Студент отвечает на 2 вопроса, имеются неточности, нет ответов на дополнительные вопросы	<i>Базовый уровень</i>	<i>Хорошо</i>
Студент отвечает на 1 вопрос, имеются неточности, отвечает на дополнительные вопросы	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Удовлетворительно</i>
Студент не отвечает ни на вопросы ни на дополнительные вопросы	–	<i>Неудовлетворительно</i>

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

## ПК-2

Готов к созданию новых методов расчета современных физических установок и устройств, разработке методов регистрации ионизирующих излучений, методов оценки количественных характеристик ядерных материалов

### Перечень заданий для проверки сформированности компетенции:

1. Удельные потери энергии частиц в веществе:
  - 1) Случайная дискретная величина;
  - 2) Случайная непрерывная величина;
  - 3) Смешанная случайная величина.**
2. Средний пробег частиц в веществе:
  - 1) Позволяет однозначно определить все характеристики частиц;
  - 2) Не позволяет;
  - 3) Позволяет несколько из всех возможных.**
3. По критической энергии заряженных частиц можно:
  - 1) Однозначно определить атомный номер вещества поглотителя Z;
  - 2) Нельзя;**
  - 3) Неоднозначно.
4. Импульсная ионизационная камера:
  - 1) Может работать только в импульсном режиме;
  - 2) Может работать в токовом режиме;**
  - 3) Не может.
5. Мёртвое время пропорционального газоразрядного счётчика:
  - 1) Зависит от приложенного напряжения;**
  - 2) Не зависит;
  - 3) Слабо зависит.
6. Сцинтилляционный детектор функционирует на основе:
  - 1) Ионизационного эффекта;
  - 2) Радиолюминисцентного эффекта;**
  - 3) Радиохимического эффекта.
7. Можно ли по комптоновской части аппаратного спектра гамма-излучения оценить энергию гамма-излучения:
  - 1) Можно;**
  - 2) Невозможно;
  - 3) Неоднозначно.
8. При постоянной величине средней потери энергии частицы аппаратный энергетический спектр частиц является:
  - 1. Строго линейным;**
  2. Нелинейным;
  3. Локально линейным.
9. Влияет ли отношение радиусов анода к катоду на коэффициент газового усиления
  - 1) Влияет;
  - 2) Не влияет;
  - 3) Слабо зависит.**
10. Какой детектор излучений имеет минимальное мёртвое время. Полупроводниковый  $\tau_1$ ; Сцинтилляционный  $\tau_2$ ; Газонаполненный  $\tau_3$ 
  - 1)  $\tau_1 < \tau_2 < \tau_3$ ;**
  - 2)  $\tau_1 > \tau_2 > \tau_3$ ;



3)  $\tau_1 = \tau_2 = \tau_3$ .

### ПК-6

Способен самостоятельно выполнять экспериментальные или теоретические исследования для решения научных и производственных задач с использованием современной техники и методов расчета и исследования с оптимизированием методов исследования

#### Перечень заданий для проверки сформированности компетенции:

- 1) Оценить коэффициент усиления  $K$  фотоэлектронного умножителя если коэффициент вторичной эмиссии диода  $\sigma = 2$ , число диодов  $n=10$ .

Ответ:  $K = \sigma^n = 2^{10} = 1024$

- 2) Оценить амплитуду импульса  $U$  напряжения на аноде ФЭУ если на фотокатод поступает  $N=10$  фотонов, конверсионная эффективность фотокатода  $a=0,3$ ; коэффициент вторичной электронной эмиссии диодов  $\sigma = 3$ , число диодов  $n=5$ , емкость анода ФЭУ  $C = 10^{-11} \text{ Ф}$ ,  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ .

Ответ:  $U = N \cdot a \cdot \sigma^n / C \approx 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ В}$

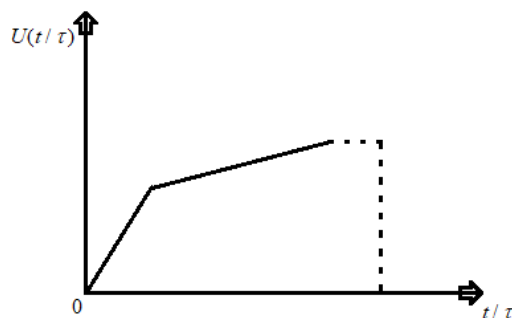
- 3) Оценить значение рабочего напряжения счётчика Гейгера-Мюллера если нижнее и верхнее значения напряжения плато-счётной характеристики составляют соответственно  $U_n = 300 \text{ В}$ ;  $U_g = 500 \text{ В}$ .

Ответ:  $U_p = (U_g + U_n) / 2 \approx 400 \text{ В}$ .

- 4) Оцените минимальное значение мёртвого времени счётчика с самостоятельным разрядом, если длительность разряда составляет  $\tau = 10^{-4} \text{ с}$ , а постоянная  $RC$  интегрирующей цепи равна  $RC = 10^{-3} \text{ с}$ .

Ответ:  $\tau_m \approx RC = 10^{-3} \text{ с}$ .

- 5) Показать на качественном уровне форму импульсов напряжений от точечной ионизации в плоской импульсной камере без газового усиления с мёртвым временем  $\tau$ , если точечная ионизация локализована посередине между электродами:  $d/2$  и  $RC \approx \tau$ .



Ответ:

- 6) Получить выражение для эффективного коэффициента газового усиления  $K_g$  в счётчике, коэффициентом усиления  $K_0$  при учёте вклада в разряд фотонного механизма.

Ответ:  $K_9 = \frac{K}{1 - \sigma K}$ .

- 7) Получите зависимость разрешающего времени  $\tau$  в импульсной ионизационной камере без газового усиления с однородным полем для точечной ионизации от координаты  $X$  точной ионизации.

Ответ:  $\tau \propto X$ .

- 8) Покажите различие в средних удельных ионизационных потерях энергии для протонов и дейтронов с одной энергией на основании которого можно рассчитать эти частицы

Ответ:  $\left(\frac{dE}{dx}\right)_p \propto \frac{4\pi e^4}{Mv_p^2} N \{\ln \dots\}$ ,

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_d \propto \frac{4\pi e^4}{Mv_d^2} N \{\ln \dots\},$$

$$v_d^2 = v_p^2 / 2,$$

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_d \propto 2 \frac{4\pi e^4}{Mv_p^2} N \{\ln \dots\}.$$

- 9) Как зависит эффективность  $\varepsilon$  регистрации коллимированного, моноэнергетического потока гамма-квантов о линейные размеры в детектор соосного с потоком квантов.

Ответ:  $\varepsilon \propto (1 - e^{-\mu l})$ ,

$\mu$  - линейный коэффициент ослабления.

- 10) Показать, что средняя энергия, затраченная частицей в рабочем веществе детектора на образование одной пары носителей заряда  $\omega$  влияет на энергетическое разрешение  $\Delta$  спектрометра.

Ответ:  $\Delta \propto \sqrt{E / \omega}$ ,  $\delta = \sqrt{E / \omega} / E = \sqrt{\omega / E}$ .