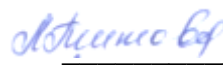


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
ядерной физики

 / Титова Л.В./
26.06.2024г.

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 Ядерные 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 26.06.2024.

8. Учебный год: 2024/2025

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 с оптимизированным методом 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 |

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 * |
|--------------------------------|--|--|--|
| 1. Лабораторные занятия | | | |
| 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) | | | | Всего |
|-------|--|---------------------------------|--------------|--------------|------------------------|-------|
| | | Лекции | Практические | Лабораторные | Самостоятельная работа | |
| 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.1, 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. Сухотина (для проведения занятий семинарского типа, текущего контроля и промежуточной аттестации) (г.Воронеж, площадь | Специализированная мебель, установка для изучения космических лучей ФПК-01, установка для изучения взаимодействия альфа-излучения с веществом (пульт спектрометрический СЭС-13; полупроводниковый детектор ДКПс-50; предусилитель БУСИ2-50; пересчетный прибор ПСО2-4), установки для определения периода полураспада долгоживущего изотопа (2 шт.), установка для изучения взаимодействия бета-излучения с веществом |

| | |
|--|--|
| Университетская, д.1, пом.І, ауд. 30) | (газоразрядный блок детектирования; высоковольтный блок питания ПСО2-08А; пересчетный прибор ПСО2-4), установки для изучения взаимодействия гамма-излучения с веществом (сцинтилляционный блок детектирования БДЭГ2-23; высоковольтный блок ВС-22; пересчетный прибор ПСО2-4) (2 шт.), установка дозиметрического контроля УИМ2-2 с блоками детектирования БДМГ-08Р и БДБ2-03. |
| г. Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.І, 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 τ_1 ; Сцинтилляционный τ_2 ; Газонаполненный τ_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 $C = 10^{-11} \Phi$, $e = 1,6 \cdot 10^{-19} Кл$.

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

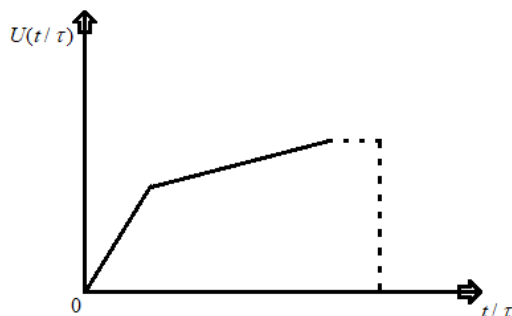
- 3) Оценить значение рабочего напряжения счётчика Гейгера-Мюллера если нижнее и верхнее значения напряжения плато-счётной характеристики составляют соответственно $U_n = 300 В$; $U_g = 500 В$.

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

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

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

- 5) Показать на качественном уровне форму импульсов напряжений от точечной ионизации в плоской импульсной камере без газового усиления с мёртвым временем τ , 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 τ 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 ε регистрации коллимированного, моноэнергетического потока гамма-квантов о линейные размеры в детектор соосного с потоком квантов.

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

μ - линейный коэффициент ослабления.

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

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