

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

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой  
ядерной физики

*Л.В. Титова* / Титова Л.В./  
13.06.2025г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.ДВ.05.01 Альфа-, бета-, гамма - спектроскопия**

**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 Алейников Алексей Николаевич

**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. РП продлена на 2025-2026 учебный год, НМС физического факультета от 20.05.2025, протокол №5.

**8. Учебный год:** 2025/2026

**Семестр(ы):** 8

## **9. Цели и задачи учебной дисциплины**

*Целями освоения учебной дисциплины являются:*

- изучение основных закономерностей наиболее распространенных видов радиоактивного распада атомных ядер, а также основ теории ядерных реакций, связанных с этими видами распадов.

*Задачи учебной дисциплины:*

- изучение основных закономерностей радиоактивного распада атомных ядер и современных методов описания этих процессов.

- приобретение умений в области теории радиоактивных распадов, достаточными не только для работы с радиоактивными веществами в промышленных объектах и научно-исследовательских лабораториях, но и получить представления о проблемах, связанных с изучением новых закономерностей радиоактивных распадов атомных ядер.

## **10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:**

Дисциплина относится к вариативной частиц цикла Б1.В.ДВ. (Дисциплины по выбору).

## **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-3 | Готов к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов.                   | ПК-3.4 | Измеряет параметры образцов материалов и компонент, выбирает типы, типономиналы и типоразмеры компонент, отвечающие функциональным, конструктивным и эксплуатационным требованиям. | Знать: фундаментальные понятия дисциплины, быть знакомыми с современным программным обеспечением позволяющим решать физические задачи.<br><br>Уметь: создавать структурированные и неструктурированные модели, задавать граничные условия и визуализировать полученные результаты.<br><br>Владеть: навыками решения классических и современных задач средствами компьютерного моделирования.   |
| ПК-5 | Способен к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции. | ПК-5.1 | Знает физические основы и методы измерений, методы оценки погрешностей измерения.  | Знать: основные закономерности радиоактивного распада атомных ядер и современных методов описания этих процессов.<br><br>Владеть: знаниями в области теории радиоактивных распадов, достаточными не только для работы с радиоактивными веществами в промышленных объектах и научно-исследовательских лабораториях, но и получить представления о проблемах, связанных с изучением новых закономерностей радиоактивных распадов атомных ядер. |

## **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 |    |
|                                       |              | 8 семестр    |    |
| Аудиторные занятия                    | 52           | 52           |    |
| в том числе:                          | лекции       | 26           | 26 |
|                                       | практические | 26           | 26 |
|                                       | лабораторные |              |    |
| Самостоятельная работа                | 92           | 92           |    |
| 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              | Альфа-распад.                   | Распространенность альфа-распадных ядер. Энергетика альфа-распада. Закон Гейгера – Неттопа. Одночастичный вариант теории альфа-распада (теория Гамова). Систематика альфа – переходов. Правила отбора в альфа-распаде. Квазистационарные состояния в квантовой механике. Не R-матричный вариант теории альфа-распада. Формула Манга. Ширины альфа-распада в простой оболочечной модели. Теоретические и экспериментальные коэффициенты усиления альфа-распада и сверхтекущая модель. Классификация альфа-переходов по степени облегченности. Роль кластерной области в формировании ширин альфа-распада. Альфа-распад деформированных ядер. Учет связи каналов. R-матричный вариант теории альфа-распада деформированных ядер. Не R- матричный вариант. Альфа-гамма корреляции. Альфа-распад ориентированных ядер. | -  |
| 1.2              | Бета – спектроскопия.           | Типы переходов в атомных ядрах и энергетика бета-распада. Общие формулы для вероятности бета переходов. Классификация бета-переходов по степени запрещенности и правила отбора величины $\log(ft)$ . Форма разрешенных бета-спектров, учет кулоновского поля атомов. Запрещенные бета-переходы. Форма уникальных бета-спектров, вероятность уникальных переходов первого и второго порядков запрета. Форма спектров и полная вероятность неуникальных переходов первого и второго порядков запрета. Теория электронного захвата. Теория бета-гамма корреляций.   | -  |
| 1.3              | Гамма – спектроскопия.          | Электрическое и магнитное мультипольное излучение. Векторные сферические функции.  | -  |

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
|  |  | Вероятности электромагнитных переходов в атомных ядрах. Длинноволновое приближение. Приведенные вероятности электромагнитных переходов. Теория электромагнитных переходов, связанных с изменением состояния одного нуклона. Единицы Вайскопфа. Электромагнитные переходы в обобщенной модели ядра. Вероятности коллективных электромагнитных переходов. Теория внутренней конверсии. Ядерная изомерия и ее связь со структурой атомного ядра. Угловое распределение излучения. Теория гамма-гамма корреляций. Кулоновское возбуждение ядер. Рассеяние гамма-квантов на атомных ядрах. Фотоядерные реакции. Гигантский дипольный и квадрупольный резонансы. |  |
|--|--|--|--|

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

| № п/п | Наименование темы (раздела) дисциплины | Виды занятий (количество часов) |              |              |                        |          |
|-------|--|---------------------------------|--------------|--------------|------------------------|----------|
|       |  | Лекции                          | Практические | Лабораторные | Самостоятельная работа | Контроль |
| 1     | Альфа-распад.                          | 10                              | 10           |              | 32                     | 52       |
| 2     | Бета – спектроскопия.                  | 8                               | 8            |              | 30                     | 46       |
| 3     | Гамма – спектроскопия.                 | 8                               | 8            |              | 30                     | 46       |
|       | Итого:                                 | 26                              | 26           |              | 92                     | 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     | Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика: учебник: в 3 т. / К.Н. Мухин.— Санкт-Петербург; Москва ; Краснодар : Лань, 2009-. — (Классическая учебная литература / ред. совет: Ж.И. Алферов (пред.) [и др.]) |
| 2     | Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика: учебник: в 3 т. / К.Н. Мухин.— Санкт-Петербург; Москва ; Краснодар : Лань, 2009-. — (Классическая учебная литература / ред. совет: Ж.И. Алферов (пред.) [и др.]) |

б) дополнительная литература:

| № п/п | Источник   |
|-------|--|
| 3     | Ишханов Б. С. 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.  |
| 4  | Сивухин Д. В. Общий курс физики : учеб. пособие для студ. физ. специальностей вузов : в 5 т. / Д.В. Сивухин .— М. : ФИЗМАТЛИТ : 2006.— Т.5: Атомная и ядерная физика . – Изд. 3-е, стер. – 2006 .— 782 с. |
| 5  | Альфа-, бета- и гамма-спектроскопия / под. Ред. К. Зигбана. – М. : Атомиздат, 1969.   |
| 6  | Кадменский С.Г. Альфа-распад и родственные ядерные реакции / С.Г. Кадменский, В.И. Фурман. – М. : Энергоатомиздат, 1985.  |
| 7  | Соловьев В.Г. Теория атомного ядра: в 2 т. / В.Г. Соловьев. – М. : Энергоиздат, 1982 .  |
| 8  | Вальтер А.К. Ядерная физика / А.К. Вальтер. – Харьков: Основа, 1991.  |
| 9  | Кужир П. Г. Прикладная ядерная физика : учебное пособие для студентов инженерно-технических специальностей вузов / П.Г. Кужир .— Минск : Технопринт, 2003 .— 112 с.                                       |
| 10 | Бор О. Структура атомного ядра: в 2 Т. / О.Бор, Б.Моттельсон.— МИР, 1982 г.   |
| 11 | Варшалович Д.А. Квантовая теория углового момента / Д.А. Варшалович, А.Н.Москалев, В.К.Херсонский. – Л.: Наука, 1975 г.   |
| 12 | Слив Л.А. Гамма-лучи / Л.А.Слив. – Л. : Наука, 1962.  |
| 13 | Джелепов Б.С Бета-процессы / Б.С. Джелепов, Н.Н. Зырянова, Ю.П. Суслов. – М. : Наука, 1972 .  |
| 14 | Ву Ц.С. Бета-распад / Ц.С.Ву, С.А. Мошковский.– М.: Атомиздат. 1984.  |
| 15 | Браун Дж. Единая теория ядерных моделей и сил / Дж. Браун. – М. : Атомиздат, 1970.  |
| 16 | Строение атомного ядра / Пер.с англ.; под ред. А.С. Давыдова. – М.: Изд.-во иностранной литературы, 1959.   |

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="http://https://edu.vsu.ru">https://edu.vsu.ru</a> – Электронный университет ВГУ |

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

| № п/п | Источник   |
|-------|--|
| 1     | Капитонов И.М. Введение в физику ядра и частиц/ И.М.Капитонов.– Издательство "Физматлит", ISBN: 978-5-9221-1250-5, 2010.– 512 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:

|  |   |
|--|---|
| Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, текущего контроля и промежуточной аттестации<br>Специализированная мебель, ноутбук ASUS VIVOBOOK X507-EJ057, проектор BenQ MP515 ST, переносной экран для проектора на штативе SceenMedia Apollo-T Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019.<br>LibreOffice (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия:<br><a href="https://www.libreoffice.org/about-us/licenses/">https://www.libreoffice.org/about-us/licenses/</a> )<br>Adobe Reader (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия:<br><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.1, ауд. 329  |
| Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования<br>Ноутбук ASUS VIVOBOOK X507-EJ057, проектор BenQ MP515 ST, переносной экран для проектора на штативе SceenMedia Apollo-T   | г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.1, ауд. 31   |
| Компьютерный класс, аудитория для групповых и индивидуальных консультаций, помещение для самостоятельной работы<br>Специализированная мебель, компьютеры (системные блоки Intel Pentium-IV, мониторы LG FLATRON L17428-8F) (30 шт.) с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета<br>Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019.<br>LibreOffice (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия:<br><a href="https://www.libreoffice.org/about-us/licenses/">https://www.libreoffice.org/about-us/licenses/</a> )<br>Adobe Reader (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия:<br><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.1, ауд. 40/5 |

## 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.   | Альфа-распад.                            | ПК-3<br>ПК-5   | ПК-3.4<br>ПК-5.1                    | Устный опрос, собеседование по билетам к зачету |
| 2.   | Бета – спектроскопия.                    |                |                                     |   |
| 3.   | Гамма – спектроскопия.                   |                |                                     |   |
| Промежуточная аттестация<br>форма контроля - зачет |  |                |                                     | Пункт 20.2.1<br>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:

Устный опрос

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.                              | Повышенный уровень                   | Отлично             |
| Знание основного программного материала на основе качественной характеристики, допускающее погрешности в ответах. Способность самостоятельно ответить на дополнительные корректирующие вопросы преподавателя. | Базовый уровень                      | Хорошо              |
| Знание основного программного материала на основе качественной характеристики, допускающее погрешности в ответах. Способность скорректировать ответ под руководством преподавателя.                           | Пороговый уровень                    | 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. Распространенность альфа-распадных ядер. Энергетика альфа-распада.
2. Гигантский дипольный и квадрупольный резонансы.
3. Закон Гейгера – Неттоля. Одночастичный вариант теории альфа-распада (теория Гамова).
4. Фотоядерные реакции.
5. Систематика альфа – переходов. Правила отбора в альфа-распаде.
6. Рассеяние гамма-квантов на атомных ядрах.
7. Квазистационарные состояния в квантовой механике
8. Угловое распределение излучения. Теория гамма-гамма корреляций. Кулоновское возбуждение ядер.
9. Не R-матричный вариант теории альфа-распада. Формула Манга.
10. Ядерная изомерия и ее связь со структурой атомного ядра.
11. Ширины альфа-распада в простой оболочечной модели.
12. Теория внутренней конверсии.
13. Теоретические и экспериментальные коэффициенты усиления альфа-распада и сверхтекучая модель.
14. Вероятности коллективных электромагнитных переходов.
15. Классификация альфа-переходов по степени облегченности.
16. Электромагнитные переходы в обобщенной модели ядра.
17. Роль кластерной области в формировании ширин альфа-распада.

18. Теория электромагнитных переходов, связанных с изменением состояния одного нуклона. Единицы Вайскопфа.
19. Альфа-распад деформированных ядер. Учет связи каналов.
20. Вероятности электромагнитных переходов в атомных ядрах. Длинноволновое приближение. Приведенные вероятности электромагнитных переходов.
21. R-матричный вариант теории альфа-распада деформированных ядер.
22. Векторные сферические функции.
23. Не R-матричный вариант.
24. 2. Электрическое и магнитное мультипольное излучение.
25. Альфа-гамма корреляции.
26. Гамма – спектроскопия
27. Альфа-распад ориентированных ядер.
28. Теория бета-гамма корреляций
29. Бета – спектроскопия
30. Теория электронного захвата.
31. Типы переходов в атомных ядрах и энергетика бета-распада.
32. 2Форма спектров и полная вероятность неуникальных переходов первого и второго порядков запрета.
33. Общие формулы для вероятности бета переходов.
34. Запрещенные бета-переходы. Форма уникальных бета-спектров, вероятность уникальных переходов первого и второго порядков запрета.
35. Классификация бета-переходов по степени запрещенности и правила отбора величины  $\log(ft)$ .
36. Форма разрешенных бета-спектров, учет кулоновского поля атомов

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

| Критерии оценивания компетенций   | Уровень сформированности компетенций | Шкала оценок |
|---|--------------------------------------|--------------|
| Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом дисциплины (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач в области физики. | Достаточный уровень                  | Зачтено      |
| Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует перечисленным показателям. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки в ответе.  | –                                    | Не засчитано |

