

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.06.01 Экспериментальные методы ядерной спектроскопии

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:

доц., к.ф.м.н. 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 свойств атомных ядер, описанию видов ядерных превращений, технике исследования реакций и распадов, методикам определения основных ядерных характеристик и знакомству с ядерными моделями. Он опирается на ряд классических курсов ядерной физики, ядерных реакций, приборов и методов ядерной физики.

Задачи учебной дисциплины:

- определение различных ядерных характеристик при исследовании радиоактивного распада и ядерных реакций, и мю-мезонов и взаимодействия ядер с быстрыми нейтронами и жесткими фотонами;
- изучение современных методик ядерной спектроскопии; техники исследования реакций и распадов; представлений о градуировке и проверках различных типов спектрометров;
- приобретение умений планирования схему эксперимента; интерпретировать полученные экспериментальные данные; определять основные ядерные характеристики.

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. экспериментальных установок.	ПК-3.1	Знает методы экспериментального исследования физических процессов, создания	Знать: фундаментальные понятия дисциплины, быть знакомыми с современным программным обеспечением позволяющим решать физические задачи.
		ПК-3.4	Измеряет параметры образцов материалов и компонент, выбирает типы, типономиналы и типоразмеры компонент, отвечающие функциональным, конструктивным и эксплуатационным требованиям.	Уметь: создавать структурированные и неструктурированные модели, задавать граничные условия и визуализировать полученные результаты. Владеть: навыками решения классических и современных задач средствами компьютерного моделирования.
ПК-5	Способен к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к	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. Владеть: знаниями в области теории

	использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции.		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 с оценкой.

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость		
	Всего	По семестрам	
		8 семестр	
Аудиторные занятия	76	76	
в том числе:	лекции	12	12
	практические		
	лабораторные	64	64
Самостоятельная работа	68	68	
в том числе: курсовая работа (проект)			
Контроль			
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. Лекции			
1.1	Общие сведения о ядерных реакциях.	Прямые ядерные реакции. Составное ядро. Ядерные реакции под воздействием нейтронов. Ядерные реакции под действием заряженных частиц, кулоновское возбуждение. Реакции под воздействием быстрых частиц.	-
1.2	Техника исследования реакций и распадов.	Магнитные спектрометры; спектрометры со сцинтилляционными детекторами, спектрометры с полупроводниковыми детекторами; специальные методы спектрометрии. Сравнение эффективности и энергетического и временного разрешений различных спектрометров. Спектрометры для многомерного анализа.	-
1.3	Получение изотопов	Получение изотопов в реакциях под действием быстрых частиц. Получение изотопов в реакциях под действием тяжелых ионов. Получение изотопов в реакциях деления. Получение изотопов при последовательным захвате нейтронов.	-
1.4	Измерение энергий ядерных реакций	Измерение энергий ядерных реакций, измерение энергии альфа-распада. Определение граничной	-

		энергии бета-спектров. Измерение масс атомов. Полуэмпирическая формула для масс атомов.	
1.5	Методы определения времени жизни ядерных состояний	Методы определения времени жизни ядерных состояний по измерению скорости спада интенсивности излучения. Метод задержанных состояний. Метод ядер отдачи, измерение ширины ядерных уровней. Эффекты теней. Сравнение методов измерения времени жизни ядерных состояний.	-
1.6	Методы определения спинов и четностей ядерных состояний.	Методы определения спинов и четностей ядерных состояний. Определение спинов при исследовании пространственного определения полей ядерных излучений. Нахождение четности состояний при линейной поляризации гамма-квантов. Определение спинов и четностей при исследовании поляризационных явлений в ядерных реакциях. Определение спинов и четностей при исследовании поляризационных явлений в ядерных реакциях. Определение спинов и четностей при исследовании спектров ЭВК.	-
1.7	Методы определения электромагнитных моментов ядерных состояний.	Методы определения электромагнитных моментов ядерных состояний. При измерении энергетических интервалов между магнитным» подуровнями. При измерении чистоты ламинарной прецессии ядра в магнитном поле. Определение электромагнитных моментов при прецессии упругого состояния быстрых нейтронов. Определение электрических мультипольных моментов в опытах по измерению сечения фотопоглощения.	-
1.8	Ядерные оболочки в сферических и формированных ядрах	Ядерные оболочки в сферических и формированных ядрах, Капельная гидродинамическая модель ядра. Полумикроскопический подход к теории ядра. Исследование сверхтонких взаимодействий.	
1.9	Исследование сверхтонких взаимодействий методом ядерного магнитного резонанса	Исследование сверхтонких взаимодействий методом ядерного магнитного резонанса : методы наблюдения ЯМР. Стационарные методы. Релаксация. Ядерная спин-решеточная релаксация. Спин-спиновая Релаксация. Метод спинового эха. Ширины и формы ЯМР. Ядерный и квадрупольный резонанс.	-
1.10	Угловые корреляции	Угловые корреляции. Теория гамма-гамма корреляции направлений для свободных ядер. Корреляция направлений с участием электронов конверсии. Угловая бета-гамма корреляция.	-
1.11	Влияние сверхтонких взаимодействий на угловые определения ядерных излучений	Влияние сверхтонких взаимодействий на угловые определения ядерных излучений, типы взаимодействий, приводящих к возмущению угловых корреляций. Интегральные и зависящие от времени дифференциальные угловые корреляции. Определение величин магнитного и статистического квадрупольного взаимодействий.	-
1.12	Исследование сверхтонких взаимодействий методом эффекта Мессбауэра	Исследование сверхтонких взаимодействий методом эффекта Мессбауэра. Экспериментальные методы наблюдения эффекта Мессбауэра. Детекторы мессбауэровского излучения. Форма линии резонансного поглощения. Спектрометры скоростей, источники и поглотители. Изомерный сдвиг.	-

2. Лабораторные занятия				
2.1	Техника исследования реакций и распадов.	Техника исследования реакций и распадов.		-
2.2	Получение изотопов.	Получение изотопов.		-
2.3	Измерение энергий.	Измерение энергий.		-
2.4	Метод задержанных совпадений.	Метод задержанных совпадений.		-
2.5	Определение спинов и четностей	Определение спинов и четностей		-
2.6	Электромагнитные моменты ядерных состояний	Электромагнитные моменты ядерных состояний		-
2.7	Ядерные модели.	Ядерные модели.		-
2.8	Сверхтонкие взаимодействия.	Сверхтонкие взаимодействия.		-
2.9	Угловые корреляции.	Угловые корреляции.		-

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	Общие сведения о ядерных реакциях.	1					1
2	Техника исследования реакций и распадов.	1		6	6		13
3	Получение изотопов	1		6	6		13
4	Измерение энергий ядерных реакций	1		6	6		13
5	Методы определения времени жизни ядерных состояний	1		6	6		13
6	Методы определения спинов и четностей ядерных состояний.	1		8	6		15
7	Методы определения электромагнитных моментов ядерных состояний.	1		8	6		15
8	Ядерные оболочки в сферических и формированных ядрах	1		8	6		15
9	Исследование сверхтонких взаимодействий методом ядерного магнитного резонанса	1		8	6		15
10	Угловые корреляции	1		8	6		15
11	Влияние сверхтонких взаимодействий на угловые определения ядерных излучений	1			6		7
12	Исследование сверхтонких взаимодействий методом эффекта Мессбауэра	1			8		7
Итого:		12		64	68		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 стесняясь 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	Малышев Л.Г. Физика атома и ядра [Электронный ресурс] : учебное пособие / Л.Г. Малышев, А.А. Повзнер. — Электрон. текстовые данные. — Екатеринбург: Уральский федеральный университет, 2014. — 144 с.
2	Болоздыня А. И. Детекторы ионизирующих частиц и излучений. Принципы и применения : учеб. пособие / А.И. Болоздыня, И.М. Ободовский .— Долгопрудный : Интеллект, 2012 .— 204 с.
3	Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика : учебник : [в 3 т.] / К.Н. Мухин.— Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2009- .— (Классическая учебная литература по физике / ред. совет: Ж.И. Алферов (пред.) [и др.])
4	Барсуков, О.А. Основы физики атомного ядра. Ядерные технологии / О.А. Барсуков. - Москва : Физматлит, 2011. - 560 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
5	Капитонов И. М. Введение в физику ядра и частиц : учеб. пособие для студентов физ. фак. клас. ун-тов и др. вузов, обучающихся по специальности "Ядерная физика" и направлению "Физика" / И. М. Капитонов. — Изд. 3-е испр. и доп. — М. : КомКнига, 2006. — 327 с.
6	Соловьев В.Г. Теория атомного ядра / В.Г. Соловьев. - М. : Энергоатомиздат, 1981.
7	Бор О. Структура атомного ядра: в 2 т. / О. Бор, Б. Моттельсон. — М. : МИР, 1971. — Т. 1 : Одночастичное движение. — 1971. — 456 с.
8	Бор О. Структура атомного ядра: в 2 т. / О. Бор, Б. Моттельсон. — М. : МИР, 1977. — Т. 2 : Деформация ядер. — 1977. — 464 с.
9	Ситенко А.Г. Лекции по теории ядра / А.Г. Ситенко, В.К. Тартаковский.— М. : Атомиздат, 1972.
10	Давыдов А.С. Теория атомного ядра / А.С. Давыдов. — М. : Физматгиз, 1958.
11	Айзенберг И. Модели ядер. Коллективные и одночастичные явления / И. Айзенберг, В. Грайнер — М. : Атомиздат, 1970.
12	Браун Дж. Единая теория ядерных моделей и сил / Дж. Браун. — М. : Атомиздат, 1970.
13	Строение атомного ядра: сб. ст. / под ред. А.С. Давыдова. — М. : ИЛ, 1959.
14	Баранов В.Ю.Изотопы: свойства, получение, применение . В 2 т. Т. 2/ В.Ю.Баранов.— Москва: Физматлит, 2005.— 728. // «Университетская библиотека online: электронно-библиотечная система.— URL: http://biblioclub.ru »
15	Ракобольская И. В. Ядерная физика : [учеб. пособие для студентов физических специальностей вузов] / И.В. Ракобольская .— Изд. 3-е, перераб. — Москва : URSS, 2014 .— 241 с

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

№ п/п	Ресурс
	www.lib.vsu.ru – ЗНБ ВГУ
	https://edu.vsu.ru – 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	Хребтова С. Б. Физические методы исследования вещества : задания для самостоятельной работы студентов, Ч. 1. Спектроскопия ЯМР и ЭПР/ Хребтова С. Б. , Телешев А. Т. , Ярышев Н. Г..– Москва: МПГУ, 2015.– 20 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 - 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 Apollo-T Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019. LibreOffice (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: https://www.libreoffice.org/about-us/licenses/) Adobe Reader (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: https://get.adobe.com/ru/reader/legal/licenses/)	г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.1, ауд. 428
Лаборатория (для проведения занятий лекционного и семинарского типов, текущего контроля и промежуточной аттестации) Специализированная мебель, сцинтилляционный гамма-спектрометр: блок детектирования БЛБД7Г - 20Р; высоковольтный блок БНВ-30-01 (стандарт "Вектор"); усилитель БУИ-ЗК "Вектор"; анализатор импульсов АИ; 4К	г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.1, ауд. 38
Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования Ноутбук 15,6" DNS (0164925), проектор EPSON EB-X11, 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 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-	г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.1, ауд. 40/5

образовательную среду университета
 Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019.
 LibreOffice (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия:
<https://www.libreoffice.org/about-us/licenses/>)
 Adobe Reader (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия:
<https://get.adobe.com/ru/reader/legal/licenses>)
 Mozilla Firefox (бесплатное и/или свободное ПО) (лицензия:
<https://www.mozilla.org/ru/about/legal/terms/firefox/>)

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.	Общие сведения о ядерных реакциях.	ПК-3 ПК-5	ПК-3.1 ПК-3.4 ПК-5.1	Устный опрос, собеседование по билетам к зачету
2.	Техника исследования реакций и распадов.			
3.	Получение изотопов			
4.	Измерение энергий ядерных реакций			
5.	Методы определения времени жизни ядерных состояний			
6.	Методы определения спинов и четностей ядерных состояний.			
7.	Методы определения электромагнитных моментов ядерных состояний.			
8.	Ядерные оболочки в сферических и формированных ядрах			
9.	Исследование сверхтонких взаимодействий методом ядерного магнитного резонанса			
10.	Угловые корреляции			
11.	Влияние сверхтонких взаимодействий на угловые определения ядерных излучений			
12.	Исследование сверхтонких взаимодействий методом эффекта Мессбауэра			
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:

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. Ядерные реакции через составное ядро (теория Бора).
2. Интегральные и дифференциальные методики измерения угловых корреляций.
3. Техника исследования реакций и распадов.
4. Возмущенные угловые корреляции.
5. Сравнение эффективности и энергетического и временного разрешений различных видов детекторов.
6. Угловая бета-гамма корреляция.
7. Получение изотопов в различных реакциях.
8. Корреляция направлений с учетом электронов конверсии.
9. Измерение энергий ядерных реакций.
10. Элементарная теория угловых корреляций.
11. Методы определения времени жизни ядерных состояний.
12. Определение коэффициентов внутренней конверсии гамма-квантов.
13. Ядерные реакции под воздействием заряженных частиц.
14. Капельная (гидродинамическая) модель ядра.

15. Угловые распределения аннигиляционного излучения.
16. Полуэмпирический подход в теории ядерных моделей.
17. Бета-спектры. Кривая Кюри.
18. Прямые ядерные реакции.
19. Метод ядерного магнитного резонанса. Спин-спиновая реакция.

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