

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

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
ядерной физики

 / Титова Л.В./  
20.06.2025г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.ДВ.02.02 Экспериментальные методы ядерной физики**

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

14.04.02 Ядерные физика 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.ф.- м.н., доцент Вахтель Виктор Матвеевич

**7. Рекомендована:**

Научно-методическим советом физического факультета, протокол № 5 от 20.05.2025

**8. Учебный год:** 2026/2027

**Семестр(ы):** 3

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются:

-изучение современных программных средств, используемых для решения физических задач.

Задачи учебной дисциплины:

-усвоить фундаментальные понятия дисциплины, быть знакомыми с современным программным обеспечением позволяющим решать физические задачи; -дать умения создавать структурированные и неструктурированные модели, задавать граничные условия и визуализировать полученные результаты;  
-овладеть навыками решения классических и современных задач средствами

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** Дисциплина относится к вариативной части 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-5	Способен осуществлять контроль, организацию и планирование безопасной эксплуатации тепло- и электрооборудования, трубопроводов, парогенераторов АЭС, а также основных фондов реакторного отделения АЭС.	ПК-5.7	Использует общие методы построения систем измерений и обработки экспериментальных результатов и применять их для исследования излучений радиоактивных источников и частиц высокой энергии	знать: процессы в электронных компонентах, цепях и устройствах, понимание принципиальных возможностей и ограничений электронных устройств, методы исследований и измерений, применяющиеся физиками экспериментаторами, работающими в области ядерной физики и физики элементарных частиц; уметь: выбирать метод измерений и обработки экспериментальных результатов при планировании эксперимента для проведения исследований излучений различных радиоактивных источников и частиц высокой энергии владеть (иметь навык(и)): практическими навыками применять на практике общие методы измерений и обработки экспериментальных результатов, используемых при проведении исследований излучений радиоактивных источников и частиц высокой энергии.
ПК-6	способность самостоятельно выполнять экспериментальн	ПК-6.2	Знает методы и методики спектрометрии и излучений	Знать: физические явления, на которых основано определение элементного и изотопного состава вещества, основы исследования структурных характеристик

	ые или теоретические исследования для решения научных и производственных задач с использованием современной техники и методов расчета и исследования с оптимизированием методов исследования	ПК-6.5	Знает физические явления, на которых основано определение элементного и изотопного состава вещества, основы исследования структурных характеристик материалов методами массспектрометрии, резерфордовского рассеяния, каналирования, мессбау-эровской спектроскопии.	<p>материалов методами масс-спектрометрии, резерфордовского рассеяния, каналирования, мессбауэровской спектроскопии</p> <p>Уметь: выбирать метод измерений и обработки экспериментальных результатов при планировании эксперимента для проведения исследований излучений различных радиоактивных источников и частиц высокой энергии</p> <p>Владеть: навыками практического применения спектрометрии: осуществлять градуировку спектрометров энергий гаммаизлучений, определять относительную активность источников излучений, проводить идентификацию типа заряженных частиц по удельной ионизации</p>
--	--	--------	--	---

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час — 3/108.**

**Форма промежуточной аттестации - экзамен**

**13. Трудоемкость по видам учебной работы**

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
			3 семестр
Аудиторные занятия		52	
в том числе:	лекции	26	26
	практические	26	26
	лабораторные		
Самостоятельная работа		20	20
в том числе: курсовая работа (проект)			
Форма промежуточной аттестации		Экзамен – 36 час.	Экзамен – 36 час.
Итого:		108	108

**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	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.	-

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.	-
3	Получение изотопов	Получение изотопов в реакциях под действием быстрых частиц. Получение изотопов в реакциях под действием тяжелых ионов. Получение изотопов в реакциях деления. Получений изотопов при последовательным захвате нейтронов.	-
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.	-
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.	-
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.	-
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.	-
8	Ядерные оболочки в сферических и деформированных ядрах	Ядерные оболочки в сферических и деформированных ядрах, Капельная гидродинамическая модель ядра. Полумикроскопический подход к теории ядра. Исследование сверхтонких взаимодействий.	-
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.	-

10	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.	-
11	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.	-

### 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.	2	2		2	3	9
2	Техника исследования реакций и распадов.	2	2		2	3	9
3	Получение изотопов.	2	2		2	3	9
4	Измерение энергий.	2	2		2	3	9
5	Метод задержанных совпадений.	2	2		2	3	9
6	Определение спинов и четностей	2	2		2	3	9
7	Электромагнитные моменты ядерных состояний	2	2		2	3	9
8	Ядерные модели.	2	2		2	3	9
9	Сверхтонкие взаимодействия.	4	4		2	4	14
10	Возмущенные угловые корреляции.	3	3		1	4	11
11	Эффект Мессбауэра.	3	3		1	4	11
	Итого:	26	26		20	36	108

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

По лекционной части курса самостоятельная работа ведётся по материалу лекций, источникам основной и дополнительной литературы. Опросы включают физические принципы экспериментальных методов, характеристики методов и области их применения. На практических занятиях контроль выполняется в ходе решения задач в аудитории и самостоятельно по разделам дисциплины.

### 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	Ракобольская И. В. Ядерная физика : [учеб. пособие для студентов физических специальностей вузов] / И.В. Ракобольская .— Изд. 3-е, перераб. — Москва : URSS, 2014 .— 241 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.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3	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.
4	Абрамов, Александр Иванович. 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,[1] с.
5	Бор О. Структура атомного ядра: в 2 т. / О. Бор, Б. Моттельсон. — М. : МИР, 1971. — Т. 1 : Одночастичное движение. — 1971. — 456 с.
6	Бор О. Структура атомного ядра: в 2 т. / О. Бор, Б. Моттельсон. — М. : МИР, 1977. — Т. 2 : Деформация ядер. — 1977. — 464 с.
7	Ситенко А.Г. Лекции по теории ядра / А.Г. Ситенко, В.К. Тартаковский.— М. : Атомиздат, 1972.
8	Давыдов А.С. Теория атомного ядра / А.С. Давыдов. — М. : Физматгиз, 1958.
9	Айзенберг И. Модели ядер. Коллективные и одночастичные явления /И. Айзенберг, В. Грайнер — М. : Атомиздат, 1970.
10	Браун Дж. Единая теория ядерных моделей и сил / Дж. Браун. — М. : Атомиздат, 1970.
11	Строение атомного ядра: сб. ст. / под ред. А.С. Давыдова. — М. : ИЛ, 1959.
12	Алейников А. Н. Теория атомного ядра [Электронный ресурс] : учебное пособие по курсу "Атомная физика" / А.Н. Алейников, В.А. Работкин, Д.Е. Любашевский ; Между-нар. ин-т компьютер. технологий, Энергет. фак. — Электрон. текстовые дан. — Воро-неж, 2013 .— Загл. с титул. экрана .— Свободный доступ из интрасети ВГУ .— Тек-стовый файл .— Windows 2000; Adobe Acrobat Reader .— <URL:http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m13-220.pdf>.
13	Ободовский, Илья Михайлович. 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.

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

№ п/п	Ресурс
14	<a href="http://www.lib.vsu.ru">www.lib.vsu.ru</a> – ЗНБ ВГУ
	<a href="https://edu.vsu.ru">https://edu.vsu.ru</a> – 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	Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов направления 14.04.02. Ядерная физика и технологии, - Вахтель В.М., Титова Л.В. – ВГУ. 2018. – 17 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:

Компьютерный класс (для проведения занятий семинарского типа, текущего контроля и промежуточной аттестации). Специализированная мебель, компьютеры Pentium-II, III (10 шт.), объединенные в локальную сеть с Университетская, д.1, возможностью подключения к сети «Интернет». пом. I, ауд. 507П	г. Воронеж, площадь Университетская, д.1, г. Воронеж, площадь
--	---

Аудитория для самостоятельной работы, компьютерный класс с доступом к сети «Интернет»: компьютеры (мониторы, системные блоки) (15 шт.) Университетская, д.1, пом. I, ауд. 313а

### 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 1-11	ПК-5	ПК-5.7	Собеседование
2.	Темы 1-11	ПК-6	ПК-6.2 ПК-6.5	Собеседование
Промежуточная аттестация форма контроля - экзамен				Пункт 20.2.1 Вопросы к экзамену

### 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:

Практикоориентированные задания, контрольные работы

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач в области кинетики ядерных реакторов	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично</i>
Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует одному (двум) из перечисленных показателей, но обучающийся дает правильные ответы на дополнительные вопросы. Недостаточно продемонстрировано взаимовлияние различных факторов, определяющих состояние активной зоны на кинетику реактора, или содержатся отдельные пробелы в определении физических причин, определяющих кинетику реактора.	<i>Базовый уровень</i>	<i>Хорошо</i>
Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым двум(трем) из перечисленных показателей, обучающийся дает неполные ответы на дополнительные вопросы. Демонстрирует частичные знания факторов, влияющих на кинетику реактора, или имеет не полное представление о соотношении различных эффектов реактивности.	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Удовлетворительно</i>
Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым трем(четырем) из перечисленных показателей. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки в оценке эффектов реактивности.	–	<i>Неудовлетворительно</i>

## 20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Собеседование по экзаменационным билетам

### 20.2.1. Перечень вопросов к экзамену:

1. Прямые ядерные реакции. Составное ядро.
2. Ядерные реакции под воздействием нейтронов.
3. Ядерные реакции под действием заряженных частиц. Кулоновское возбуждение.
4. Реакции под воздействием быстрых частиц.
5. Магнитные спектрометры; спектрометры со сцинтилляционными детекторами, спектрометры с полупроводниковыми детекторами; специальные методы спектрометрии.

6. Сравнение эффективности и энергетического и временного разрешений различных спектрометров.
7. Спектрометры для многомерного анализа.
8. Получение изотопов в реакциях под действием быстрых частиц.
9. Получение изотопов в реакциях под действием тяжелых ионов.
10. Получение изотопов в реакциях деления.
11. Получение изотопов при последовательным захвате нейтронов.
12. Измерение энергий ядерных реакций, измерение энергии альфа-распада.
13. Определение граничной энергии бета-спектров.
14. Измерение масс атомов. Полуэмпирическая формула для масс атомов.
15. Методы определения времени жизни ядерных состояний по измерению скорости спада интенсивности излучения.
16. Метод задержанных состояний. Метод ядер отдачи, измерение ширины ядерных уровней. Эффекты теней.
17. Сравнение методов измерения времени жизни ядерных состояний.
18. Методы определения спинов и четностей ядерных состояний.
19. Определение спинов при исследовании пространственного определения полей ядерных излучений.
20. Нахождение четности состояний при линейной поляризации гамма-квантов.
21. Определение спинов и четностей при исследовании поляризационных явлений в ядерных реакциях.
22. Определение спинов и четностей при исследовании поляризационных явлений в ядерных реакциях.
23. Определение спинов и четностей при исследовании спектров ЭВК.
24. Методы определения электромагнитных моментов ядерных состояний. При измерении энергетических интервалов между магнитными подуровнями.
25. При измерении чистоты ламинарной прецессии ядра в магнитном поле.
26. Определение электромагнитных моментов при прецессии упругого состояния быстрых нейтронов.
27. Определение электрических мультипольных моментов в опытах по измерению сечения фотопоглощения.

28. Ядерные оболочки в сферических и деформированных ядрах, Капельная гидродинамическая модель ядра.
29. Полумикроскопический подход к теории ядра.
30. Исследование сверхтонких взаимодействий. Исследование сверхтонких взаимодействий методом ядерного магнитного резонанса : методы наблюдения ЯМР.
31. Стационарные методы. Релаксация. Ядерная спин-решеточная релаксация. Спинспиновая Релаксация.
32. Метод спинового эха. Ширины и формы ЯМР. Ядерный и квадрупольный резонанс.
33. Теория гамма-гамма корреляции направлений для свободных ядер. Корреляция направлений с участием электронов конверсии.
34. Угловая бета-гамма корреляция.
35. Влияние сверхтонких взаимодействий на угловые определения ядерных излучений, типы взаимодействий, приводящих к возмущению угловых корреляций.
36. Интегральные и зависящие от времени дифференциальные угловые корреляции.
37. Определение величин магнитного и статистического квадрупольного взаимодействий.
38. Исследование сверхтонких взаимодействий методом эффекта Мессбауэра.
39. Экспериментальные методы наблюдения эффекта Мессбауэра.
40. Детекторы мессбауэровского излучения.
41. Форма линии резонансного поглощения. Спектрометры скоростей, источники и поглотители. Изомерный сдвиг.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся полностью отвечает на теоретический вопрос КИМа, на дополнительные вопросы, выполняет практические задачи, демонстрирует знания разделов дисциплины.	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично</i>
В ответе обучающегося на теоретический вопрос имеются неточности, нет ответов на дополнительные вопросы или возникают затруднения с выполнением практической задачи.	<i>Базовый уровень</i>	<i>Хорошо</i>
Студент отвечает на теоретический вопрос КИМа, имеются неточности, отвечает на дополнительные вопросы, не выполняет практическую задачу.	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Удовлетворительно</i>
Студент не отвечает ни на вопросы КИМа, ни на дополнительные вопросы, не может выполнить практическое задание.	–	<i>Неудовлетворительно</i>

