

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

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
ядерной физики



Титова Л. В.
20.06.2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.07 Ядерно-физические методы исследования**

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.ф-м.н., доц. Вахтель Виктор Матвеевич

7. Рекомендована:

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

8. Учебный год: 2026/2027

Семестр(ы): 4

9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- ознакомление с радиоспектроскопическими и мессбауэровскими методами исследования свойств веществ, методами описания спектров парамагнитного и мессбауэровского резонанса, применением спектроскопии магнитного и мессбауэровского резонанса в научных исследованиях и на практике. Задачи учебной дисциплины:

- получить знания о методах и методиках спектрометрии и излучений;
- анализировать данные, получаемые при использовании различных методик измерений в мессбауэровской спектрометрии. а также данные, получаемые в различных магниторезонансных спектрометрах с точки зрения структуры исследуемых образцов;
- овладеть методами измерений характеристик материалов с помощью мессбауэровской спектрометрии, владеть методами изучения физико-химических характеристик материалов с помощью магниторезонансных спектрометров

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Обязательная 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-2.3	Знает физикохимические характеристики материалов, измеряемые с помощью мессбауэровской спектрометрии.	Знать: методы и методики спектрометрии и излучений Уметь: анализировать данные, получаемые при использовании различных методик измерений в мессбауэровской спектрометрии. а также данные, получаемые в различных магниторезонансных спектрометрах с точки зрения структуры исследуемых образцов Владеть: методами измерений характеристик материалов с помощью мессбауэровской спектрометрии, владеть методами изучения физико-химических характеристик материалов с помощью магниторезонансных спектрометров
ПК-6	Способен самостоятельно выполнять экспериментальн	ПК-6.2	Знает методы и методики спектрометрии и излучений	Знать: методы и методики спектрометрии и излучений

	ые или теоретические исследования для решения научных и производственных задач с использованием современной техники и методов расчета и исследования	ПК-6.3	Анализирует данные, получаемые при использовании различных методик измерений в мессбауэровской спектрометрии. а также данные, получаемые в различных магниторезонансных	Уметь: анализировать данные, получаемые при использовании различных методик измерений в мессбауэровской спектрометрии. а также данные, получаемые в различных магниторезонансных спектрометрах с точки зрения структуры исследуемых образцов Владеть: методами измерений характеристик материалов с помощью мессбауэровской спектрометрии, владеть методами изучения физико-химических характеристик материалов с помощью магниторезонансных спектрометров
	с оптимизированном методом исследования.	ПК-6.4	Владеет методами измерений характеристик материалов с помощью мессбауэровской спектрометрии, владеть методами изучения физикохимических характеристик материалов с помощью магниторезонансных спектрометров.	спектрометрах с точки зрения структуры исследуемых образцов.

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час — 5/180.

Форма промежуточной аттестации – зачет с оценкой

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
			4 семестр
Аудиторные занятия		72	72
в том числе:	лекции	24	24
	практические		
	лабораторные	48	48
Самостоятельная работа		72	72
в том числе: курсовая работа (проект)			
Контроль		36	36
Форма промежуточной аттестации		зачет с оценкой	зачет с оценкой

Итого:	180	180
--------	-----	-----

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
1. Лекции			
1.1	Введение. Радиоспектроскопия как система методов исследования структуры вещества.	Основные методы радиоспектроскопии – электронный парамагнитный резонанс (ЭПР), ядерный магнитный резонанс (ЯМР), циклотронный резонанс, двойной электронно-ядерный резонанс (ДЭЯР), ядерный квадрупольный резонанс (ЯКР).	-
1.2	Принципы мессбауэровской спектрометрии	Резонансное поглощение гамма-излучения. Влияние структуры вещества на ширину и сдвиг резонансных линий. Анализ мессбауэровских спектров	-
1.3	Ядерный магнитный резонанс.	Методы описания ЯМР. Продольное и поперечное время затухания. Возможности ЯМР и аппаратная реализация ЯМР – спектроскопии	-
1.4	Электронный парамагнитный резонанс.	Методы описания ЭПР. Время затухания. Возможности ЭПР и аппаратная реализация ЭПР - спектроскопии	-
1.5	Циклотронный резонанс	Принцип осуществления ЦР. Использование ЦР для исследования структуры полупроводников и поверхностей металла.	-
1.6	Двойной электронноядерный резонанс.	Принципы ДЭЯР. Экспериментальное наблюдение спектров ДЭЯР. Применение ДЭЯР для изучения сверхтонких взаимодействий в кристаллах.	-
1.7	Ядерный квадрупольный резонанс.	Спиновый гамильтониан и спектр ЯКР. Спектр ЯКР в магнитном поле (случай аксиальной симметрии градиента кристаллического поля).	-

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	Введение. Радиоспектроскопия как система методов исследования структуры вещества	2		6	4	2	14
2	Принципы мессбауэровской спектрометрии	4		8	14	6	32
3	Ядерный магнитный резонанс	4		6	10	6	26
4	Электронный парамагнитный резонанс	4		6	12	6	28
5	Циклотронный резонанс	4		8	12	6	30
6	Двойной электронноядерный резонанс	4		8	12	6	30

7	Ядерный квадрупольный резонанс	2		6	8	4	20
	Итого:	24		48	72	36	180

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

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.

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	Блюмих, Бернад. Основы ЯМР / Б. Блюмих ; пер. с англ. Н.Е. Агаповой .— М. : Техносфера, 2007 .— 152, [7] с.
2	Уэстбрук К. Магнитно-резонансная томография : практическое руководство / К. Уэстбрук, К. Каут Рот, Д. Тэлбот ; пер. с 3-го англ. изд. И.В. Филипповича ; под ред. Ж.В. Шейх, С.М. Горбунова .— М. ; 2012 : Бинوم. Лаборатория знаний, .— 448 с.
3	Ядерный магнитный резонанс и ЯМР-томография : учебное пособие для вузов. Ч.1 / сост. С.Г. Кадменский .— Воронеж : Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2012 .— 34 с. <URL:http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m12-38.pdf>.
4	Эрнст Р. ЯМР в одном и двух измерениях./Р.Эрнст, Боденхаузен Дж., Вокаун А. – М.: Мир, 1990 – 248с.
5	Марченко А. Эмиссионная мессбауэровская спектроскопия./А.Марченко, П.Серегин.-. Palmarium Academic Publishing. 2014 – 192с.
6	Магнито-резонансная спектроскопия. Под. ред. Труфанова Г.Е. и Тютина Л.А./ Мищенко А. и др. – С.Пб: ЭЛБИ-СПб. 2008. -240с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
7	Сликтер, Чарльз. Основы теории магнитного резонанса / Ч. Сликтер ; пер. [с англ.] Н.Н. Корста, Б.Н. Провоторова и А.П. Степанова; под ред. Г.В. Скроцкого .— 2-е, пересмотр., доп. и испр. изд. — Москва : Мир, 1981 .— 448 с.
8	Займан Дж. Электроны и фононы./Дж. Займан - М.:Мир. 1962.
9	Сликтер, Ч. Основы теории магнитного резонанса : С примерами из физики твердого тела / Ч. Сликтер ; пер. Н.Н. Корста, Б.Н. Провоторова; под ред. Г.В. Скроцкого .— М. : Мир, 1967 .— 323,[1] с
10	Уэстбрук К. Магнитно-резонансная томография : практическое руководство / К. Уэстбрук, К. Каут Рот, Д. Тэлбот ; пер. с 3-го англ. изд. И.В. Филипповича ; под ред. Ж.В. Шейх, С.М. Горбунова .— М. ; 2012 : Бинوم. Лаборатория знаний.
11	Марченко А. Эмиссионная мессбауэровская спектроскопия./А.Марченко, П.Серегин.-. Palmarium Academic Publishing. 2014
12	Сликтер, Чарльз. Основы теории магнитного резонанса / Ч. Сликтер ; пер. [с англ.] Н.Н. Корста, Б.Н. Провоторова и А.П. Степанова; под ред. Г.В. Скроцкого .— 2-е, пересмотр., доп. и испр. изд. — Москва : Мир, 1981 .

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

№ п/п	Ресурс
-------	--------

13	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, 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 - 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 им. Л.Н. Сухотина (для проведения занятий лекционного и семинарского типов, текущего контроля и промежуточной аттестации) г. Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.І, ауд. 30	Специализированная мебель, ноутбук ASUS VIVOBOOK X507-EJ057, проектор BenQ MP515 ST, переносной экран на штативе SceenMedia Apilo-T Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 301015/207-19 от 30.04.2019
Лаборатория (для проведения лабораторных занятий) г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.І, ауд. 33	Установка спектрометрическая МКС-01.А. "Мультирад" в составе: гамма-спектрометрический тракт "Мультирад-гамма", ПО "Прогресс". Установка спектрометрическая МКС-01.А "Мультирад" в составе: альфа-спектрометрический тракт - А.С." ПО "Прогресс".

Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.1, ауд. 31	Ноутбук ASUS VIVOBOOK X507-EJ057, проектор BenQ MP515 ST, переносной экран на штативе SceneMedia Apollo-T Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 301015/207-19 от 30.04.2019
г. Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.1, ауд. 507П	Аудитория для самостоятельной работы. Специализированная мебель, компьютеры PentiumII, 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 1-7	ПК-2	ПК-2.3	Собеседование
2.	Темы 1-7	ПК-6	ПК-6.2 ПК-6.3 ПК-6.4	Собеседование
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, собеседование

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся демонстрирует полное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, свободно оперирует приобретенными знаниями, умениями, применяет их при решении задач.	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично</i>
Обучающийся демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, но допускает незначительные ошибки, неточности, испытывает затруднения при решении задач	<i>Базовый уровень</i>	<i>Хорошо</i>

Обучающийся демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, допускает значительные ошибки при решении задач	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Удовлетворительно</i>
Обучающийся демонстрирует явное несоответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям	–	<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. Основные методы радиоспектроскопии.
2. Электронный парамагнитный резонанс (ЭПР).
3. Ядерный магнитный резонанс (ЯМР)
4. Циклотронный резонанс, двойной электронно-ядерный резонанс (ДЭЯР)
5. Ядерный квадрупольный резонанс (ЯКР).
6. Резонансное поглощение гамма-излучения.
7. Влияние структуры вещества на ширину и сдвиг резонансных линий.
8. Анализ мессбауэровских спектров
9. Методы описания ЯМР.
10. Продольное и поперечное время затухания.
11. Возможности ЯМР и аппаратная реализация ЯМР – спектроскопии
12. Методы описания ЭПР.
13. Время затухания.
14. Возможности ЭПР и аппаратная реализация ЭПР - спектроскопии
15. Принцип осуществления ЦР.
16. Использование ЦР для исследования структуры полупроводников и поверхностей металла.
17. Принципы ДЭЯР.
18. Экспериментальное наблюдение спектров ДЭЯР.
19. Применение ДЭЯР для изучения сверхтонких взаимодействий в кристаллах.
20. Спиновый гамильтониан и спектр ЯКР.
21. Спектр ЯКР в магнитном поле (случай аксиальной симметрии градиента кристаллического поля).

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся демонстрирует полное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, свободно оперирует приобретенными знаниями, умениями, применяет их при решении задач.	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Отлично</i>
Обучающийся демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, но допускает незначительные ошибки, неточности, испытывает затруднения при решении задач	<i>Базовый уровень</i>	<i>Хорошо</i>
Обучающийся демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, допускает значительные ошибки при решении задач	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Удовлетворительно</i>
Обучающийся демонстрирует явное несоответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям	–	<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:

- Оценить выражение для резонансной частоты \square_p колебаний в последовательном RLC-контуре. а. 10H
b. 10^5H
c. 10^3H
d. 10^7H
- Получить выражение и значение для резонансной частоты \square_p в параллельном контуре. а. 10H
b. 10^5H
c. 10^3H
d. 10^7H
- Получить выражение и значение для резонансной частоты \square_p в условиях циклотронного резонанса. а. $2 \cdot 10H$

- b. $4 \cdot 10^3 \text{H}$
- c. $3 \cdot 10^5 \text{H}$
- d. $5 \cdot 10^7 \text{H}$

4. Получить выражение и значения для резонансной частоты Ларморовой рецессии частицы с магнитным моментом μ в магнитном однородном поле с индукцией B . а. $2 \cdot 10 \text{H}$
- b. $5 \cdot 10^3 \text{H}$
 - c. $3 \cdot 10^7 \text{H}$
 - d. $4 \cdot 10^5 \text{H}$
5. Получить выражение и значение для скорости относительного движения в вакууме источник-детектор при заданных E_0 ; μ ; а. **1.05 мм/с**
- b. 10 мм/с
 - c. 1,05 мкм/с
 - d. 10 мкм/с
6. Получить расщепление возбуждённого состояния ядра Fe-57. а. 15 эВ
- b. **10 эВ**
 - c. 3 эВ
 - d. 5 эВ

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. На чем основан резонансный метод?

Резонансный метод основан на регистрации параметров резонансных колебаний, возбуждаемых в контролируемом объекте. 2. Что такое эталонный образец?

Эталонный образец – это образец продукции, утвержденный в установленном порядке, показатели качества которого принимаются за базовые. 3. Что такое ядерный магнитный резонанс (ЯМР)?

Ядерный магнитный резонанс (ЯМР) – резонансное поглощение электромагнитных волн атомными ядрами, происходящее при изменении ориентации векторов их собственных моментов количества движения (спинов).

4. Что такое компьютерная томография?

Компьютерная томография – это метод послойной диагностики организма, основанный на рентгеновском излучении. 5. Что из себя представляют фантомы?

Фантомы являются моделями тела человека или животных, предназначенные для измерения поглощенных доз ионизирующих излучений. 6. Что такое эффект Мёссбауэра или ядерный гамма-резонанс?

Эффект Мёссбауэра или ядерный гамма-резонанс — испускание или поглощение гамма-квантов атомными ядрами в твёрдом теле, не сопровождающееся изменением колебательной энергии тела, то есть испусканием или поглощением фононов.