

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

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
ядерной физики

 / Титова Л.В./
13.06.2024г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.07 Резонансные методы исследований

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 №6 от 13.06.2024

8. Учебный год: 2025/2026

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	ПК-6.3	Анализирует данные, получаемые при использовании различных методик измерений в мессбауэровской спектроскопии. а	Уметь: анализировать данные, получаемые при использовании различных методик измерений в мессбауэровской спектроскопии. а также данные, получаемые в различных магниторезонансных спектрометрах с точки зрения структуры исследуемых образцов Владеть: методами измерений характеристик материалов с помощью мессбауэровской
	современной техники и методов расчета и исследования с оптимизированием методов исследования.		также данные, получаемые в различных магниторезонансных спектрометрах с точки зрения структуры исследуемых образцов.	спектроскопии, владеть методами изучения физико-химических характеристик материалов с помощью магниторезонансных спектрометров
		ПК-6.4	Владеет методами измерений характеристик материалов с помощью мессбауэровской спектроскопии, владеть методами изучения физикохимических характеристик материалов с помощью магниторезонансных спектрометров.	

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
			4 семестр
Аудиторные занятия		60	
в том числе:	лекции	12	12
	практические		
	лабораторные	48	48
Самостоятельная работа		48	48
в том числе: курсовая работа (проект)			
Контроль		36	36
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	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)					Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Контр оль	
1	Введение. Радиоспектроскопия как система методов исследования структуры вещества	1		7	7	2	17
2	Принципы мессбауэровской спектрометрии	2		7	7	5	21
3	Ядерный магнитный резонанс	2		7	7	6	22
4	Электронный парамагнитный резонанс	2		7	7	6	22
5	Циклотронный резонанс	2		7	7	5	21
6	Двойной электронноядерный резонанс	2		7	7	7	23

7	Ядерный квадрупольный резонанс	1		6	6	5	18
	Итого:	12		48	48	36	144

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, Бернард. 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 : Бином. 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 : Бином. 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 ScenMedia Apollo-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".

<p>Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.1, ауд. 31</p>	<p>Ноутбук ASUS VIVOBOOK X507-EJ057, проектор BenQ MP515 ST, переносной экран на штативе SceenMedia Aplo-T Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 301015/207-19 от 30.04.2019</p>
<p>Компьютерный класс, аудитория для групповых и индивидуальных консультаций, помещение для самостоятельной работы г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.1, ауд. 40/5</p>	<p>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 информационнообразовательную 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/aboutus/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/)</p>

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
№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
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.