Минобрнауки России

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра радиофизики и электроники

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

ДИСЦИПЛИНЫ

«Б1.Д.В.3 Магнитная релаксация и методы радиоспектроскопии»

Уровень высшего образования

БАКАЛАВРИАТ

Направление подготовки
03.03.03 Радиофизика
(код и наименование направления подготовки)

Физика наноматериалов
(наименование направленности (профиля) образовательной программы)

Квалификация
Бакалавр

Форма обучения
Очная

Год набора 2025

Рабочая программа дисциплины «*Б1.Д.В.3 Магнитная релаксация и методы радиоспектроскопии*» рассмотрена и утверждена на заседании кафедры

Кафедра радиофизики и электроники
наименование кафедры

протокол № 5 от "18" февраля 2025 г.

Заведующий кафедрой
Кафедра радиофизики и электроники _____ А.П. Русинов
наименование кафедры *подпись* *расшифровка подписи*

Исполнители:
профессор _____ М.Г. Кучеренко
должность *подпись* *расшифровка подписи*

ст. преподаватель _____ С.А. Пеньков
должность *подпись* *расшифровка подписи*

СОГЛАСОВАНО:
Председатель методической комиссии по направлению подготовки
03.03.03 Радиофизика _____ Т.М. Чмерева
код наименование *личная подпись* *расшифровка подписи*

Заведующий отделом формирования фонда и научной обработки документов
_____ С.А. Бикташирова
личная подпись *расшифровка подписи*

Уполномоченный по качеству факультета
_____ А.Д. Стрекаловская
личная подпись *расшифровка подписи*

№ регистрации _____

© Кучеренко М.Г., 2025
© Пеньков С.А., 2025
© ОГУ, 2025

1 Цели и задачи освоения дисциплины

Цель (цели) освоения дисциплины:
студент должен освоить основы магнитной релаксации и радиоспектроскопии, овладеть методами и приемами экспериментального изучения физических свойств атомных и молекулярных систем.

Задачи:
изучение методов регистрации магнитного резонанса, приобретение навыков в применении полученных теоретических знаний к решению физических задач в области атомной и ядерной физике;

2 Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к обязательным дисциплинам (модулям) вариативной части блока Д «Дисциплины (модули)»

Пререквизиты дисциплины: *Б1.Д.Б.14 Электричество и магнетизм, Б1.Д.Б.16 Атомная физика, Б1.Д.Б.22 Квантовая механика*

Постреквизиты дисциплины: *Б1.Д.В.7 Основы теории антенн*

3 Требования к результатам обучения по дисциплине

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих результатов обучения

Код и наименование формируемых компетенций	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций
ПК*-1 Способен применять на практике профессиональные знания и умения в сфере производства, внедрения и эксплуатации электронных приборов и систем различного назначения, полученные при освоении профильных физических дисциплин	ПК*-1-В-1 Знает фундаментальные основы специализированных знаний в области радиоэлектроники, телекоммуникационных систем и антенных комплексов ПК*-1-В-3 Умеет решать профессиональные задачи с применением специализированных физико-математических и естественнонаучных знаний, методов научного анализа и моделирования	**Знать:** принципы действия и устройства приборов, механизмов, установок, используемых в радиоэлектронике. **Уметь:** применять теоретические знания для объяснения работы радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования. **Владеть:** навыками работы с радиоэлектронной и оптической аппаратурой и оборудованием, соблюдая технику безопасности.
ПК*-2 Способен проводить научные исследования в избранной экспериментальной или теоретической области с применением современной	ПК*-2-В-1 Знает основные методы проведения теоретического и экспериментального исследования в сфере профессиональной деятельности ПК*-2-В-2 Умеет решать профессиональные задачи с применением	**Знать:** терминологию, используемую в статистической радиофизике; **Уметь:** находить информацию в интернет-

Код и наименование формируемых компетенций	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций
приборной базы и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта	современной приборной базы и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта	ресурсах. **Владеть:** навыками работы с научными периодическими изданиями.

4 Структура и содержание дисциплины

4.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы (144 академических часа).

Вид работы	Трудоемкость, академических часов	
	6 семестр	всего
Общая трудоёмкость	**144**	**144**
Контактная работа:	**34,25**	**34,25**
Лекции (Л)	18	18
Практические занятия (ПЗ)	16	16
Промежуточная аттестация (зачет, экзамен)	0,25	0,25
Самостоятельная работа: *- самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий;* *- изучение разделов курса в системе электронного обучения;* *- подготовка к практическим занятиям;* *- подготовка к коллоквиумам;* *- подготовка к рубежному контролю и т.п.)*	**109,75**	**109,75**
Вид итогового контроля (зачет, экзамен, дифференцированный зачет)	**диф. зач.**	

Разделы дисциплины, изучаемые в 6 семестре

№ раздела	Наименование разделов	Количество часов				
		всего	аудиторная работа			внеауд. работа
			Л	ПЗ	ЛР	
1	Введение. Физические свойства спинов и магнитных моментов электронов и ядер	14	2	1		12
2	Кинетическая теория магнитного резонанса	16	2	2		12
3	Основные характеристики электронной и ядерной намагниченности	12	2	2		13
4	Уравнение Блоха	18	2	2		13
5	Принципы радиоспектроскопии	16	2	1		12
6	Экспериментальные методы радиоспектроскопии	16	2	2		12

№ раздела	Наименование разделов	Количество часов				
		всего	аудиторная работа			внеауд. работа
			Л	ПЗ	ЛР	
7	1) Импульсные методы магнитного резонанса	16	2	2		12
8	2) Квантовая теория магнитного резонанса	16	2	2		12
9	3) Теория магнитной релаксации	20	2	2		12
	Итого:	144	18	16		110
	Всего:	144	18	16		110

4.2 Содержание разделов дисциплины

1. Введение. Физические свойства спинов и магнитных моментов электронов и ядер. Спин и его свойства. Магнитные моменты ядер. Взаимодействие с магнитным полем. Зеемановская энергия.

2. Кинетическая теория магнитного резонанса. Система зеемановских уравнений. Индуцированные резонансные переходы. Релаксация.

3. Основные характеристики электронной и ядерной намагниченности. Намагниченность. Магнитная восприимчивость парамагнетиков. Движение вектора намагниченности в постоянном магнитном поле. Прецессия. Вращающаяся система координат (ВСК).

4. Уравнение Блоха. Вывод уравнений Блоха. Переход к ВСК. Частные решения. Стационарные решения. Восприимчивость. Анализ кривых поглощения и дисперсии. Эффекты насыщения.

5. Принципы радиоспектроскопии. Параметры спектров ЯМР высокого разрешения. Спектроскопия ЯМР широких линий в твердых телах. Спектроскопия ЭПР. Основные параметры спектров ЭПР. Физические основы магнитно-резонансной томографии.

6. Экспериментальные методы радиоспектроскопии. Принципы регистрации магнитного резонанса. Стационарные и импульсные методы. Основные элементы спектрометров ЯМР. Основные элементы спектрометров ЭПР. Современные спектрометры и их производители.

7. Импульсные методы магнитного резонанса. Поведение намагниченности в импульсных полях. Спиновое эхо. Импульсные последовательности. Измерения времен релаксации. Фурье-спектроскопия. Двумерная спектроскопия ЯМР.

8. Квантовая теория магнитного резонанса. Матрица плотности, населенности и когерентности. Редуцированная матрица плотности. Уравнение Неймана. Кинетическое уравнение для редуцированной матрицы.

9. Теория магнитной релаксации. Механизмы спиновых взаимодействий. Релаксационные механизмы.

4.3 Практические занятия (семинары)

№ занятия	№ раздела	Тема	Кол-во часов
1	1	Магнитные взаимодействия.	1
2	2	Кинетика индуцированных переходов.	2
3	3	Прецессия вектора намагниченности. Вращающаяся система координат (ВСК).	2
4	4	Расчет радиочастотных восприимчивостей. Анализ кривых поглощения и дисперсии.	2
5	5	Динамика вектора намагниченности в ВСК.	1
6	6	Основные элементы спектрометров ЯМР. Основные элементы спектрометров ЭПР.	2
7	7	Расчет спектров ЯМР высокого разрешения.	2
8	8	Матрица плотности. Редуцированная матрица плотности. Кинетическая теория матрицы плотности.	2
9	9	Решение задач по теории магнитной релаксации	2
		Итого:	16

5 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

5.1 Основная литература

1. Кисель, Н. Н. Основы компьютерного моделирования антенн и СВЧ-устройств в программе HFSS ANSYS : учебное пособие : [16+] / Н. Н. Кисель, К. В. Марков ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Южный федеральный университет, 2021. – 168 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=691444 (дата обращения: 22.04.2023). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-9275-3974-1. – Текст : электронный.

2. Фомин, Д. В. Экспериментальные методы физики твердого тела : учебное пособие : [16+] / Д. В. Фомин. – Изд. 2-е, стер. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2019. – 187 с. : ил., схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=575229 (дата обращения: 14.03.2022). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-4499-0151-4. – DOI 10.23681/575229. – Текст : электронный.

5.2 Дополнительная литература

1. Федотов, М. А. Ядерный магнитный резонанс в неорганической и координационной химии (растворы и жидкости) [Текст] / М.А. Федотов. - М. : Физматлит, 2009. - 384 с. : ил. - Библиогр. в конце гл. - ISBN 978-5-9221-1202-4.

2. Сивухин, Д. В. Общий курс физики [Текст] : в 5 т.: учеб. пособие для вузов / Д. В. Сивухин . - М. : Физматлит, 2002.. - ISBN 5-9221-0229-X. - ISBN 5-89155-077-6 Т. 5 : Атомная и ядерная физика. - , 2002. - 784 с.

5.3 Периодические издания

Оптика и спектроскопия : журнал. - М. : Академиздатцентр "Наука" РАН.

Успехи физических наук. - М. : Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН.

5.4 Интернет-ресурсы

https://openedu.ru/course/ - «Открытое образование», Каталог курсов, МООК: «Ядерная физика»;

https://openedu.ru/course/ - «Открытое образование», Каталог курсов, МООК: «Квантовая физика»;

http://www.femto.com.ua/index1.html – энциклопедия физики и техники.

http://kvant.mccme.ru/ - научно-популярный физико-математический журнал «Квант»;

5.5 Программное обеспечение, профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. Операционная система Microsoft Windows
2. Пакет настольных приложений Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint, OneNote, Outlook, Publisher, Access)
4. SCOPUS [Электронный ресурс] : реферативная база данных / компания Elsevier. – Режим доступа: https://www.scopus.com/, в локальной сети ОГУ.
5. American Institute of Physics [Электронный ресурс] : реферативная база данных / Американский институт физики (AIP), AIP Publishing. – Режим доступа : https://www.scitation.org/, в локальной сети ОГУ.
6. Web of Science [Электронный ресурс]: реферативная база данных / компания Clarivate Analytics. – Режим доступа : http://apps.webofknowledge.com/, в локальной сети ОГУ.

6 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, семинарского типа, для проведения групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Аудитории оснащены комплектами ученической мебели, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещение для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой, подключенной к сети "Интернет", и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ОГУ.

К рабочей программе прилагаются:

- Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине;
- Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.