

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"
Институт физики



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной деятельности КФУ

Е.А. Турилова

17 февраля 2023 г.

подписано электронно-цифровой подписью

Программа дисциплины

Основы магнитного резонанса: Свойства точечных квантовых дефектов и управление квантовыми спиновыми системами

Направление подготовки: 03.03.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Квантовая и СВЧ электроника

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2023

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
 - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
 - 4.2. Содержание дисциплины (модуля)
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья
13. Приложение №1. Фонд оценочных средств
14. Приложение №2. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
15. Приложение №3. Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Программу дисциплины разработал(а)(и): доцент, к.н. Мамин Г.В. (Кафедра квантовой электроники и радиоспектроскопии, Высшая школа киберфизических систем и прикладной электроники), George.Mamin@kpfu.ru

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль), должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОПК-2	Способен проводить экспериментальные и теоретические научные исследования объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные;
ПК-3	способностью исследовать свойства веществ радиофизическими методами

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

теоретические основы явления магнитного резонанса, включая его классическую и квантовую интерпретацию, эффекты, обуславливающие форму линии магнитного резонанса, механизмы релаксации

Должен уметь:

понимать, излагать и критически анализировать общефизическую информацию, необходимую для постановки и решения задач; пользоваться теоретическими основами, основными понятиями и закономерностями в области спектроскопии магнитного резонанса; осознавать достоинства и недостатки конкретных реализаций спектрометров магнитного резонанса;

Должен владеть:

навыками построения установок и постановки экспериментов в области магнитного резонанса и двойных резонансов, направленных на решение конкретных научных и технологических задач

Должен демонстрировать способность и готовность:

Применять полученные знания и навыки в области магнитного резонанса при решении фундаментальных и практических задач в областях физики, химии и биологии.

2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.ДВ.14.01 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 03.03.03 "Радиофизика (Квантовая и СВЧ электроника)" и относится к дисциплинам по выбору части ОПОП ВО, формируемой участниками образовательных отношений.

Осваивается на 4 курсе в 7, 8 семестрах.

3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных(ые) единиц(ы) на 216 часа(ов).

Контактная работа - 70 часа(ов), в том числе лекции - 34 часа(ов), практические занятия - 36 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 65 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 81 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: экзамен в 7 семестре; экзамен в 8 семестре.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)

N	Разделы дисциплины / модуля	Се- местр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)						Само- стоя- тель- ная ра- бота
			Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практи- ческие занятия, всего	Практи- ческие в эл. форме	Лабора- торные работы, всего	Лабора- торные в эл. форме	
1.	Тема 1. Введение в магнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс и электронный парамагнитный резонанс. Классическая и квантовые теории.	7	1	0	1	0	0	0	2
2.	Тема 2. Стационарные методы в магнитном резонансе	7	2	0	1	0	0	0	6
3.	Тема 3. Импульсные методы в магнитном резонансе	7	2	0	1	0	0	0	6
4.	Тема 4. Спектрометр ЯМР. Блок-схема. Классификация ЯМР спектрометров. Особенности работы	7	2	0	0	0	0	0	6
5.	Тема 5. Использование Python для инженерных расчетов. Использование Spice при разработке электронных схем	7	1	0	3	0	0	0	6
6.	Тема 6. Устройство датчика спектрометра ЯМР. Устройство коммутатора	7	2	0	3	0	0	0	6
7.	Тема 7. Предусилитель на транзисторах. Основные свойства. Методы проектирования	7	2	0	3	0	0	0	6
8.	Тема 8. Усилитель мощности РЧ диапазона. Принципы проектирования. Широкополосные трансформаторы	7	2	0	3	0	0	0	6
9.	Тема 9. Квадратурное детектирование и фильтрация. Аналоговая и цифровая реализация	7	2	0	2	0	0	0	6
10.	Тема 10. Основные методы записи спектров и релаксационных зависимостей импульсного ЯМР.	7	2	0	1	0	0	0	4
11.	Тема 11. Спектроскопия ЭПР. Спиновый гамильтониан. Решение уравнения Шрёдингера в средах Python и Matlab. Программа Easyspin.	8	2	0	4	0	0	0	6
12.	Тема 12. Электронная структура парамагнитных центров. LS и JJ связи. g-фактор Ланде. g-тензор.	8	3	0	2	0	0	0	1
13.	Тема 13. Электрическое кристаллическое поле. Сферические функции и операторы. Вычисление параметров кристаллического поля. Операторы Стивенсона. Тонкая структура.	8	4	0	4	0	0	0	2
14.	Тема 14. Сверхтонкая и суперсверхтонкая структура спектров ЭПР.	8	3	0	2	0	0	0	0
15.	Тема 15. Усреднение спектров ЭПР движением. Изучение фазовых переходов методом ЭПР.	8	2	0	2	0	0	0	0
16.	Тема 16. Методы регистрации СВ ЭПР.	8	2	0	2	0	0	0	0

N	Разделы дисциплины / модуля	Се- местр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)						Само- стоя- тель- ная рабо- та
			Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практи- ческие занятия, всего	Практи- ческие в эл. форме	Лабора- торные работы, всего	Лабора- торные в эл. форме	
17.	Тема 17. Приложения метода ЭПР. Определение дозы радиации. Спиновые метки и ловушки.	8	2	0	2	0	0	0	0
	Итого		36	0	36	0	0	0	63

4.2 Содержание дисциплины (модуля)

Тема 1. Введение в магнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс и электронный парамагнитный резонанс. Классическая и квантовые теории.

Лекции:

Определение магнитного резонанса. Определение электронного парамагнитного резонанса.

Определение ядерного магнитного резонанса. Связь магнитной восприимчивости и магнитно-резонансных методов. Уравнение прецессии. Вращающаяся система координат. Резонанс во ВСК. Уравнение Шрёдингера. Решение уравнения, энергий для состояний и вычисление вероятностей перехода.

Практические занятия:

Решение уравнения Шрёдингера для $S=1$.

Самостоятельная работа:

Поиск в сети Интернет статей по магнитному резонансу, связанных с темой ВКР.

Тема 2. Стационарные методы в магнитном резонансе

Лекции:

Стационарные методы в магнитном резонансе. Колебательный контур. Собственная частота и полоса пропускания контура. Добротность колебательного контура. Колебательный контур с распределенными параметрами - СВЧ резонатор. Положение образца в колебательном контуре и резонаторе. Согласование колебательных контуров. Применение колебательных контуров и резонаторов с высокой добротностью в спектроскопии. Простейший стационарный спектрометр. Недостатки усилительного такта постоянной частоты. Модуляция как средство компенсации дрейфа нуля. Модуляция магнитного поля в спектрометрах. Фаза сигнала. Синхронный детектор. Первая производная линии поглощения. Спектрометр с двойной модуляцией. Мостовой детектор. Метод скрещенных катушек блоха. Автодинный детектор. Супергетеродинный спектрометр.

Практические занятия:

Вывод эффекта насыщения из уравнений Блоха.

Самостоятельная работа:

Поиск в сети Интернет применения метода модуляции в других областях физики.

Тема 3. Импульсные методы в магнитном резонансе

Лекции:

Импульсные методы в магнитном резонансе. Прецессия. Продольная и перпендикулярная намагниченности. Влияние радиочастотного импульса. Спин-решеточная релаксация. Спин-спиновая релаксация. Неоднородные магнитные поля. Уравнения Блоха. Измерение релаксации. Спад свободной индукции (ССИ). Преобразование Фурье для ССИ. Когерентный спектрометр. Спектрометр с преобразованием Фурье. Спиновое эхо. Последовательность Хана. Измерение спин-спиновой релаксации. Измерение спин-решеточной релаксации.

Практические занятия:

Вычисление преобразования Фурье с помощью научных пакетов. Вычисление спектра импульса.

Самостоятельная работа:

Вычисление спектра импульса аналитическими методами.

Тема 4. Спектрометр ЯМР. Блок-схема. Классификация ЯМР спектрометров. Особенности работы

Лекции:

Типы ядер изучаемых в ЯМР. Ядра с $S=1/2$ и ядра с большим спином. Блок-схема когерентного спектрометра ЯМР. Квадратурный детектор. Фурье преобразование, как основной метод измерения спектров ЯМР. Классификация спектрометров. ЯМР широких линий. ЯМР релаксометры. ЯМР высокого разрешения. Магнитно-резонансная томография.

Самостоятельная работа:

Поиск блок-схем промышленных спектрометров ЯМР.

Тема 5. Использование Python для инженерных расчетов. Использование Spice при разработке электронных схем

Лекции:

Синтаксис языка Python. Пакеты NumPy и SciPy. Метод комплексных амплитуд в электронике. Вычисление амплитудно-частотных характеристик с помощью языка Python. Симуляция электронных схем с помощью Spice. Интегрирование Spice в программный пакет Kicad. Расчет компонент постоянного тока и напряжения в Spice. Расчет отклика на внешнее воздействие. Расчет АЧХ. Подбор параметров электронных схем.

Практические занятия:

Вычисление АЧХ колебательного контура и отображение ее на экране в Python. Вычисление АЧХ колебательного контура в Spice.

Самостоятельная работа:

Поиск описания файла для Spice.

Тема 6. Устройство датчика спектрометра ЯМР. Устройство коммутатора

Лекции:

Датчик ЯМР спектрометра. Колебательный контур, вычисление индуктивности подбор емкости. Влияние добротности на ток в катушке. Вычисление магнитного поля в катушке при определенной мощности передатчика. Согласование датчика. Двухчастотные датчики ЯМР. Коммутатор на диодах. Трансформатор $\lambda/4$. Использование дополнительного TTL импульса для уменьшения времени парализации.

Практические занятия:

Разработка датчика ЯМР на частоту 26 МГц. Расчет количества витков катушки. Расчет схемы согласования. Расчет трансформатора $\lambda/4$.

Самостоятельная работа:

Поиск схем используемых датчиков в сети интернет.

Тема 7. Предусилитель на транзисторах. Основные свойства. Методы проектирования

Лекции: Биполярный транзистор. Схемы работы с общим эмиттером, коллектором, базой. Каскадный усилитель. Режим работы А, АВ, Б, С. Простой расчет по постоянному току. Полевой транзистор, расчет схемы на полевом транзисторе с помощью datasheet. Частотные характеристики транзистора, входная емкость. Способы компенсации входной емкости. Шумовые характеристики транзистора. Входное и выходное сопротивление транзистора, методы измерения.

Практические занятия:

Расчет каскадной схемы на биполярном транзисторе по постоянному току. Эмуляция схемы в Spice. Расчет АЧХ в Spice, подбор корректирующих АЧХ элементов.

Самостоятельная работа:

Поиск в сети Интернет схем предусилителей.

Тема 8. Усилитель мощности РЧ диапазона. Принципы проектирования. Широкополосные трансформаторы

Лекции: Схемы усилителей мощности в радиочастотном диапазоне. Мостовые схемы, режимы работы АВ и Б. Ключевые схемы. Влияние входной емкости транзисторов на коэффициент усиления. Усиление по мощности. Регулировка мощности. Трансформаторы на ферритовых сердечниках. Типы сердечников, ограничения для сердечников. Трансформаторы с коаксиальными кабелями. техника безопасности при работе с усилителями мощности РЧ диапазона.

Практические занятия:

Расчет схемы усилителя на биполярных транзисторах. Эмуляция схемы в Spice. Расчет АЧХ в Spice, подбор корректирующих АЧХ элементов.

Самостоятельная работа:

Поиск в сети Интернет схем усилителей мощности.

Тема 9. Квадратурное детектирование и фильтрация. Аналоговая и цифровая реализация

Лекции: Фурье преобразование и квадратурное детектирование. Мощность шума. Фильтрация аналоговая и цифровая. Построение фильтров для цифровой фильтрации. Перенос сигнала на промежуточную частоту с помощью смесителей или АЦП. Цифровая фильтрация на промежуточной частоте. Использование ПЛИС и микроконтроллеров.

Практические занятия:

Реализация процедуры обработки данных на языке Python, Вычисление передаточной характеристики фильтра нижних частот. Работы фильтра на эмулированных зашумленных данных.

Самостоятельная работа:

Поиск информации о реализации цифровой фильтрации.

Тема 10. Основные методы записи спектров и релаксационных зависимостей импульсного ЯМР.

Лекции: Последовательности для измерения спектров для ЯМР широких и для ЯМР узких линий. Применение спинового эха. Фурье преобразование в ЯМР широких линий. Измерение времени спин-спиновой релаксации. Измерение времени спин-решеточной релаксации. Измерения в градиенте магнитного поля. Измерение коэффициента диффузии и скорости потока.

Практические занятия:

Фурье преобразование спада спиновой индукции.

Самостоятельная работа:

Поиск в сети Интернет схемы измерителей потока на основе ЯМР.

Тема 11. Спектроскопия ЭПР. Спиновый гамильтониан. Решение уравнения Шрёдингера в средах Python и Matlab. Программа Easyspin.

Лекции: Особенности метода электронного парамагнитного резонанса. Стационарный ЭПР. Уравнения Шрёдингера в квантовой механике. Зеемановское взаимодействие. Построение матрицы спинового гамильтониана. Диагонализация матрицы и нахождение энергии состояний со спином 1/2. Расчет вероятности перехода между состояниями.

Практические занятия:

Численное решение спинового гамильтониана в Python. Аналитическое решение с помощью SymPy. Программа Easyspin, установка и первый рассчитанный спектр.

Самостоятельная работа:

Установка программы Easyspin на персональный компьютер.

Тема 12. Электронная структура парамагнитных центров. LS и JJ связи. g-фактор Ланде. g-тензор.

Лекции: Электронная структура атома. Взаимодействие электронов и ядра. Электронные оболочки. Нецентральное взаимодействие между электронами. LS и JJ связь. Упрощение структуры электронных уровней до эффективного спина. Спиновый гамильтониан. g-фактор Ланде. Изотропный и анизотропный g-фактор. Ориентационные зависимости спектра ЭПР.

Практическая работа:

Вычисление вида электронной оболочки с помощью Python. Вычисление спектра ЭПР в случае аксиального g-фактора в программе EasySpin. Случай несовпадения осей g-фактора с осями кристалла. Вычисление ориентационных зависимостей.

Самостоятельная работа:

Поиск групп симметрии для заданного кристалла.

Тема 13. Электрическое кристаллическое поле. Сферические функции и операторы. Вычисление параметров кристаллического поля. Операторы Стивенсона. Тонкая структура.

Лекции: Взаимодействие электрона и окружающих ионов. Разложение взаимодействия в ряд по сферическим операторам. Взаимодействие сферических операторов кристаллического поля и сферических функций электронной оболочки. Операторы Стивенсона. Тонкая структура спектров ЭПР. Принципы построения спинового гамильтониана для тонкой структуры. Количество линий и теория групп. Решение для NV центра в алмазе, одного из перспективных центров в квантовых компьютерах.

Практическая работа:

Вычисление положения линий спектра ЭПР в аналитическом виде для иона Mn в кубическом поле. Получение спинового гамильтониана без операторов Стивенсона с помощью матричного представления операторов спина. Поворот системы координат, преобразования матриц спина.

Использование EasySpin для вычисления спектра ЭПР содержащего тонкую структуру. Количество линий в спектре.

Самостоятельная работа:

Определить расщепление в спектре ЭПР с помощью теории групп.

Тема 14. Сверхтонкая и суперсверхтонкая структура спектров ЭПР.

Лекции: Взаимодействие магнитных моментов ядер и электронов. Диполь-дипольное взаимодействие, контактное взаимодействие Ферми. Параллельная и перпендикулярная константы сверх и суперсверхтонкого взаимодействия, связь с анизотропным и изотропным взаимодействием. Расчет плотности электронного состояния на ядре и расчет расстояния до ближних ядер. Суперсверхтонкая структура в случае множества магнитно-эквивалентных ядер.

Практические занятия:

Определение расстояния между ионами при известной анизотропной константе СТС.

Спектр ЭПР в случае сверхтонкого взаимодействия. Аналитические вычисления формул Брейта-Рабби с помощью SymPy. Аналитические вычисления расстояния между линиями ЭПР в SymPy для $S=5/2$. Расчет спектра ЭПР с СТС в EasySpin. Расчет спектра ЭПР с ССТС в EasySpin, вычисления для многих ядер.

Тема 15. Усреднение спектров ЭПР движением. Изучение фазовых переходов методом ЭПР.

Лекции: Электронный парамагнитный резонанс в жидкости. Изменение формы линии ЭПР при движении молекул. Усреднение спектра движением. Области быстрого и медленного движения. Фазовые переходы первого и второго рода. Изменение спектров ЭПР.

Практические занятия:

Вычисление формы линии в случаях быстрого и медленного движения в программе Easyspin.

Тема 16. Методы регистрации СВ ЭПР.

Лекции: Спектрометр с двойной модуляцией, настройка спектрометра. Спектрометр прямого детектирования, особенности регистрации спектров электроного парамагнитного резонанса. Насыщение спектров ЭПР, выбор мощности при неизвестном образце. Влияние температуры на спектры ЭПР. Определение концентрации парамагнитных примесей.

Практические занятия: Вычисление формы линии в случае двойной модуляции магнитного поля в программе Easyspin. Получение интегральной интенсивности для заданного спектра с помощью программного пакета Origin.

Тема 17. Приложения метода ЭПР. Определение дозы радиации. Спиновые метки и ловушки.

Лекции: Типы ионизирующего излучения. Центры окраски в кристаллах. Энергия кванта электромагнитного излучения и энергия химической связи. Локальная и нелокальная компенсация заряда. Бета излучение. Облучение протонами и нейтронами, глубина проникновения. Рекомбинация центров. Определение полученной дозы облучения по гидроксипаттиту. Определение возраста песка. Спиновые метки. Определение четвертичной структуры белка с помощью ЭПР. Спиновые ловушки. Супероксид анион и оксид азота.

Практические занятия: Моделирование спектра ЭПР спиновой метки в программе Easyspin. Аппроксимация спектров ЭПР в программе Easyspin.

5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 6 апреля 2021 года №245)

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-99бин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений"

Устав федерального государственного автономного образовательного учреждения "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Правила внутреннего распорядка федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Локальные нормативные акты Казанского (Приволжского) федерального университета

6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) включает оценочные материалы, направленные на проверку освоения компетенций, в том числе знаний, умений и навыков. Фонд оценочных средств включает оценочные средства текущего контроля и оценочные средства промежуточной аттестации.

В фонде оценочных средств содержится следующая информация:

- соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю);
- критерии оценивания сформированности компетенций;
- механизм формирования оценки по дисциплине (модулю);
- описание порядка применения и процедуры оценивания для каждого оценочного средства;
- критерии оценивания для каждого оценочного средства;

- содержание оценочных средств, включая требования, предъявляемые к действиям обучающихся, демонстрируемым результатам, задания различных типов.

Фонд оценочных средств по дисциплине находится в Приложении 1 к программе дисциплины (модулю).

7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Освоение дисциплины (модуля) предполагает изучение основной и дополнительной учебной литературы. Литература может быть доступна обучающимся в одном из двух вариантов (либо в обоих из них):

- в электронном виде - через электронные библиотечные системы на основании заключенных КФУ договоров с правообладателями;

- в печатном виде - в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского. Обучающиеся получают учебную литературу на абонементе по читательским билетам в соответствии с правилами пользования Научной библиотекой.

Электронные издания доступны дистанционно из любой точки при введении обучающимся своего логина и пароля от личного кабинета в системе "Электронный университет". При использовании печатных изданий библиотечный фонд должен быть укомплектован ими из расчета не менее 0,5 экземпляра (для обучающихся по ФГОС 3++ - не менее 0,25 экземпляра) каждого из изданий основной литературы и не менее 0,25 экземпляра дополнительной литературы на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих данную дисциплину.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля), находится в Приложении 2 к рабочей программе дисциплины. Он подлежит обновлению при изменении условий договоров КФУ с правообладателями электронных изданий и при изменении комплектования фондов Научной библиотеки КФУ.

8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Лекции в электронном формате - <http://www.gmamin.kpfu.ru>

Поисковая система Scopus - <http://www.scopus.com/home.url>

Сайт издателя Elsevier - <http://elsevierscience.ru/>

Центр коллективного пользования КФУ - http://www.kpfu.ru/main_page?p_sub=11446

Электронный журнал Physical Review B - <http://prb.aps.org/>

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Вид работ	Методические рекомендации
лекции	Основная задача лекций - создать базис для понимания основ ядерного магнитного резонанса. Рекомендуется обращать внимание на следующие аспекты: 1. Как должно быть в упрощенной теории, и как на самом деле получается на практике. 2. Возможность появления аппаратных эффектов и их устранение. Также рекомендуется участвовать в решении простых задач во время лекции.
практические занятия	Практические занятия посвящены выработке у студентов навыков расчета спектров и зависимостей ЯМР. Для этого рекомендуется на каждое практическое занятие приносить персональный компьютер с установленным Python и NumPy. Далее использовать пример программы, загружаемый с сайта КФУ, и модифицировать его под задание выданное преподавателем. В случае возникновения вопросов рекомендуется обращаться к преподавателю.
самостоятельная работа	При выполнении самостоятельной работы рекомендуется пользоваться материалами лекций и примерами программ сайта КФУ. В случае поиска информации в сети интернет рекомендуется использовать научные поисковые системы Scopus и WebOfScience. Результаты выполнения самостоятельной работы оформляются в виде файла презентации MS и могут запрошены преподавателем на практических занятиях.

Вид работ	Методические рекомендации
экзамен	Письменные работы выполняются в конце 7 и 8 семестров. При выполнении работы допускается использовать компьютер и любые литературные источники. Работы оформляются в соответствии с соответствием ГОСТ 7.32-2001 Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления. - Взамен ГОСТ 7.32-91 ; введ. 2001-07-01 ; с изм. 2005-12-01. - М. : Изд-во стандартов ; Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, [2001]. - 15 с. - (Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу). http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_136702/ и сдаются в распечатанном виде или в формате PDF.

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, представлен в Приложении 3 к рабочей программе дисциплины (модуля).

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине (модулю) включает в себя следующие компоненты:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья) и оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КФУ.

Учебные аудитории для контактной работы с преподавателем, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья).

Компьютер и принтер для распечатки раздаточных материалов.

Мультимедийная аудитория.

Компьютерный класс.

12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи;
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;

- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 03.03.03 "Радиофизика" и профилю подготовки "Квантовая и СВЧ электроника".

Приложение 2

к рабочей программе дисциплины (модуля)

Б1.В.ДВ.14.01 Основы магнитного резонанса: Свойства точечных квантовых дефектов и управление квантовыми спиновыми системами

Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Направление подготовки: 03.03.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Квантовая и СВЧ электроника

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2023

Основная литература:

1. Бельская, Н. П. Ядерный магнитный резонанс. Теория и практика : учебное пособие : в 3 частях. Часть 2 / Н. П. Бельская, О. С. Ельцов, - 2-е изд., стер. - Москва : Флинта, 2018. - 124 с. - ISBN 978-5-9765-3557-2. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/966424> (дата обращения: 10.05.2023). - Режим доступа: по подписке.
2. Сергеев, Н. А. Основы квантовой теории ядерного магнитного резонанса : монография / Н. А. Сергеев, Д. С. Рябушкин. - Москва : Логос, 2020. - 272 с. - ISBN 978-5-98704-754-5. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1213078> (дата обращения: 10.05.2023). - Режим доступа: по подписке.
3. Ткаченко, Ф. А. Электронные приборы и устройства : учебник / Ф.А. Ткаченко. - Минск : Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2020. - 682 с. : ил. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-16-004658-7. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1062340> (дата обращения: 10.05.2023). - Режим доступа: по подписке.
4. Настройка спектрометра X-диапазона фирмы Брукер серии Elexsys и измерение спектров ЭПР в стационарном режиме: учебно-методическое пособие // Ю.С. Кутьин, Г.В. Мамин, С.Б. Орлинский, Н.И. Силкин. - Казань: Казанский федеральный университет, 2017. - 56 с. - Текст электронный. - URL : https://kpfu.ru/staff_files/F935850137/X_band_CW_2017_09_22.pdf (дата обращения: 10.05.2023). - Режим доступа: открытый.

Дополнительная литература:

1. Зарипов, Максуд Мухаметзянович. Основы теории спектров электронного парамагнитного резонанса в кристаллах : курс лекций / М. М. Зарипов. - Казань : Казанский государственный университет, 2009. - 212 с. (17 экз. - НБ КФУ).
2. ЭПР спектрометр Elexsys 580. Часть 3: Двойной электронно-ядерный резонанс (ДЭЯР) : учебно-методическое пособие / А.В. Дуглав, Ю.С. Кутьин, Г.В. Мамин и др. - Казань: Институт физики, 2012. - 48 с. - Текст электронный. - URL : https://repository.kpfu.ru/?p_id=35473 (дата обращения: 10.05.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Егоров А.В. Исследование формы линии ЯМР ^{19}F в CaF_2 (метод моментов): учебно-методическое пособие / А.В. Егоров, М.С. Тагиров. - Казань: Институт физики, 2013. - 55 с. - Текст электронный. - URL: https://kpfu.ru/publication?p_id=72516 (дата обращения: 10.05.2023). - Режим доступа: для авториз. пользователей.

*Приложение 3
к рабочей программе дисциплины (модуля)
Б1.В.ДВ.14.01 Основы магнитного резонанса: Свойства точечных
квантовых дефектов и управление квантовыми спиновыми
системами*

Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Направление подготовки: 03.03.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Квантовая и СВЧ электроника

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2023

Освоение дисциплины (модуля) предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows 7 Профессиональная или Windows XP (Volume License)

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 365 или Microsoft Office Professional plus 2010

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI или Adobe Acrobat Reader DC

Kaspersky Endpoint Security для Windows

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, учебно-методические комплексы, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.