

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



*подписано электронно-цифровой подписью*

## Программа дисциплины

Экспериментальные методы в квантовой радиофизике

Направление подготовки: 03.04.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Распределенные интеллектуальные системы

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2022

## 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-3	Способен применять современные информационные технологии, использовать компьютерные сети и программные продукты для решения задач профессиональной деятельности.
ПК-1	Способностью использовать в своей научно-исследовательской деятельности знание современных проблем и новейших достижений физики и радиофизики

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.03.02 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 03.04.03 "Радиофизика (Распределенные интеллектуальные системы)" и относится к дисциплинам по выбору части ОПОП ВО, формируемой участниками образовательных отношений.

Осваивается на 1 курсе в 2 семестре.

### 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 5 зачетных(ые) единиц(ы) на 180 часа(ов).

Контактная работа - 56 часа(ов), в том числе лекции - 28 часа(ов), практические занятия - 0 часа(ов), лабораторные работы - 28 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 106 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 18 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: экзамен во 2 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. Стационарный магнитный резонанс. Устройство спектрометра . Вторая модуляция магнитного поля. Методики настройки.	2	3	0	0	0	0	0	9
2.	Тема 2. Импульсный магнитный резонанс. Устройство когерентного спектрометра. Преобразование Фурье.	2	3	0	0	0	0	0	9
3.	Тема 3. Настройка импульсного спектрометра, длительность импульса и мощность СВЧ. Спектр импульса, спектр резонатора и и их влияние на форму сигналов спиновой индукции и спинового эха	2	3	0	0	0	7	0	9
4.	Тема 4. Импульсные методы в магнитном резонансе Измерение спектров ЭПР. Измерение скоростей продольной и поперечной релаксаций	2	3	0	0	0	7	0	9
5.	Тема 5. Двумерные импульсные методики. Измерение электроно-ядерных взаимодействий в методах ESEEM и HSCORE.	2	2	0	0	0	7	0	9
6.	Тема 6. Двойной электроно-ядерный резонанс. Устройство спектромера. Методики измерений.	2	2	0	0	0	3	0	9
7.	Тема 7. Двойной электрон-электронный резонанс. Устройство спектромера. Методики измерений.	2	2	0	0	0	3	0	12
8.	Тема 8. Применение матрицы плотности в магнитном резонансе.	2	2	0	0	0	0	0	12
9.	Тема 9. Магнитно резонансные методы в веществах в различных агрегатных состояниях. Работа с жидкостями с большими полярными моментами.	2	2	0	0	0	0	0	12
10.	Тема 10. Ориентационные зависимости в ЭПР. Одноосные и двухосные гониометры. Спектры неориентированных веществ.	2	2	0	0	0	1	0	12
11.	Тема 11. Применение ЭПР в биологии, медицине, химии и геологии. Определение количества парамагнитных центров. Типы стандартов.	2	2	0	0	0	0	0	2
12.	Тема 12. Описание спектров ЭПР с помощью пакета EasySpin	2	2	0	0	0	0	0	2
	Итого		28	0	0	0	28	0	106

#### 4.2 Содержание дисциплины (модуля)

**Тема 1. Стационарный магнитный резонанс. Устройство спектрометра . Вторая модуляция магнитного поля. Методики настройки.**

Определение стационарного магнитного резонанса. Устройство спектрометра, путь СВЧ. Детектор и его рабочая точка. Резонаторы их типы: объемный, петля-щель, диэлектрический. Прямоугольный и цилиндрические объемные резонаторы. Расчет резонатора петля-щель. Особенности применения резонаторов. Оптические окна. Вторая модуляция магнитного поля. Синхронный детектор. Методики настройки стационарного ЭПР спектрометра

### **Тема 2. Импульсный магнитный резонанс. Устройство когерентного спектрометра. Преобразование Фурье.**

Вращающаяся система координат. Прецессия. Продольная и перпендикулярная намагниченности. Поворот намагниченности под действием СВЧ импульса.  $\pi/2$  и  $\pi$  импульсы. Устройство когерентного спектрометра: задающий генератор, модулятор, усилитель мощности, согласователь, предусилитель и усилитель, квадратурный детектор. Два канала регистрации. Преобразование Фурье.

### **Тема 3. Настройка импульсного спектрометра, длительность импульса и мощность СВЧ. Спектр импульса, спектр резонатора и их влияние на форму сигналов спиновой индукции и спинового эха**

Длительность импульса и мощность СВЧ. Атенуатор, децибелы. Форма импульса, искажение формы импульса резонатором. "Звон" резонатора. Спектр магнитного резонанса после квадратурного детектирования. Ноль спектра, его смещение при изменении индукции магнитного поля. Спектр резонатора. Полоса пропускания усилителя. Общий спектр на входе квадратурного детектора. Обратное Фурье преобразование спектра, форма эха. Настройка спектрометра для случаев узких и широких линий

### **Тема 4. Импульсные методы в магнитном резонансе Измерение спектров ЭПР. Измерение скоростей продольной и поперечной релаксаций**

Последовательность Хана. Спин-спиновая и спин-решеточная релаксации их методики измерений. Температурные зависимости времен спин-решеточной релаксации в областях низких и высоких температур для крамерсовых, некрамерсовых ионов и мультиплетов. Спиновая и спектральные диффузия. Использование импульсов разной мощности при измерении времен релаксаций

### **Тема 5. Двумерные импульсные методики. Измерение электроно-ядерных взаимодействий в методах ESEEM и HYSCORE.**

Модуляция распада электронного спинового пакета вращением магнитных моментов ядер -ESEEM. Проявление модуляции в последовательности Хана. Настройка последовательности Хана для наибольшей амплитуды. Спектр модуляции, вторые гармоники в спектре. Способы использования трехимпульсной последовательности для получения спектра без вторых гармоник. Двумерные последовательности ESEEM и HYSCORE.

### **Тема 6. Двойной электроно-ядерный резонанс. Устройство спектрометра. Методики измерений.**

Уровни энергии при электроно-ядерном взаимодействии. Проявление электроно-ядерного взаимодействия в стационарных спектрах. Двойной электроно-ядерный резонанс. Стационарный ДЭЯР, недостатки метода. Импульсные методики в ДЭЯР, последовательности Mims и Davies, их особенности. Тройной электроно-ядерный резонанс, реализация импульсными методиками.

### **Тема 7. Двойной электрон-электронный резонанс. Устройство спектрометра. Методики измерений.**

Введение второй микроволновой частоты в спектрометр ЭПР. Изменение устройства спектрометра. Полоса пропускания резонатора, коррекция мощности импульса на второй частоте. Методика измерения электроно-ядерных взаимодействий с помощью двойного электрон-электронного резонанса. Модуляция при электрон-электронном взаимодействии. Измерение расстояния между электронными центрами с помощью двойного электрон-электронного резонанса.

### **Тема 8. Применение матрицы плотности в магнитном резонансе.**

Матрица плотности, определения. Уравнения Лиувилля. Расчет магнитных моментов из матрицы плотности. Методика расчета при независимом от времени спиновом гамильтониане. Методика применения аппарата матрицы плотности к импульсной последовательности. Расчет сигнала спиновой индукции и спинового эха в последовательности Хана. Учет неоднородного и однородного уширения в формализме матрицы плотности

### **Тема 9. Магнитно резонансные методы в веществах в различных агрегатных состояниях. Работа с жидкостями с большими полярными моментами.**

Магнитно резонансные методы в веществах в различных агрегатных состояниях. ЭПР в газах. ЭПР в жидкостях. Усреднение спектров движением молекул. Жидкости с большим молекулярным дипольным моментом (вода, толуол) и малым молекулярным дипольным моментом (алканы, бензол). Нерезонансное поглощение СВЧ жидкостями, снижение добротности резонатора. Выбор резонаторов для исследования парамагнитных свойств в жидкостях. Импульсные методики для жидкостей, их особенности

### **Тема 10. Ориентационные зависимости в ЭПР. Одноосные и двухосные гониометры. Спектры неориентированных веществ.**

Анизотропные спектры ЭПР в кристаллах. Тонкая, сверхтонкая, суперсверхтонкая структура, анизотропия g-фактора. Устройство одноосного гониометра. Особенности работы с проточными криостатами. Держатель образцов в одноосном гониометре, измерение С4-С3-С2 в кристаллах кубической симметрии. Устройство двухосного гониометра. "Крайность" линии, соответствия ее углов и кристаллических осей.

#### **Тема 11. Применение ЭПР в биологии, медицине, химии и геологии. Определение количества парамагнитных центров. Типы стандартов.**

Определение количества парамагнитных центров. Вычисление количества парамагнитных центров по известным характеристикам спектрометра. Вычисление количества парамагнитных центров методом сравнения с откалиброванным образцом. Типы веществ применяемых в качестве калиброванных образцов. Определение дозы облучения. Измерение возраста песка в нефтяной промышленности. Определение концентрации радикалов в биологии и медицине с помощью спиновых ловушек.

#### **Тема 12. Описание спектров ЭПР с помощью пакета EasySpin**

Лекционный материал: Рассматриваются методики расчета в научных системах. Даются основы языка Python. Рассматриваются основы матричной алгебры для Python+Numpy и Matlab. Разбирается код для наиболее распространенных задач в пакетах Python+Numpy и Matlab. Студенты выполняют ряд заданий, служащих для закрепления знаний и умений в использовании языка Python.

Самостоятельная работа студентов состоит в поиске и изучении бесплатных курсов по языкам Python и Matlab

### **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

Методические пособия - <http://gmamin.kpfu.ru/MRpract/pract.php>

Научные пакеты в среде Питон - <https://habr.com/post/352678/>

Самоучитель языка Питон - <https://pythonworld.ru/samouchitel-python>

Система поиска научных статей Scopus - <https://www.scopus.com/home.uri>

Система поиска научных статей WebOfScience -

[https://apps.webofknowledge.com/WOS\\_GeneralSearch\\_input.do?product=WOS&search\\_mode=GeneralSearch&SID=S2JdhlnbVlgObJU](https://apps.webofknowledge.com/WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&SID=S2JdhlnbVlgObJU)

### **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 КПФУ - [http://www.kpfu.ru/main\\_page?p\\_sub=11446](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	Основное направление лекций - 'изучить экспериментальные методы в квантовой радиофизике и научиться применять их при изучении конденсированных сред'. Для большего усвоения материала студентам рекомендуется внимательно слушать лектора и сопоставлять сказанное с приведенными на слайдах формулами, рисунками блок-схемами. Так же важной составляющей по усвоению лекционного материала, является выполнение практических заданий и последующее сопоставление полученных результатов с материалами лекций.
лабораторные работы	Лабораторная работа состоит в получении и оформлении полученных результатов в один научный отчет. Письменная работа по первой лаб. работе должна включать в себя: Аналитический расчет спектра импульса, компьютерный расчет спектра импульса и сопоставление его с другими параметрами, результаты расчет спинового эха с помощью матрицы плотности, экспериментальный спектр ЭПР, полученный методикой детектирования спинового эха, зависимость распада поперечной намагниченности от времени, зависимость восстановления продольной намагниченности от времени, времена T1 и T2. Письменная работа по второй лаб. работе должна включать в себя: компьютерный расчет ориентационной зависимости положения линий спектра ЭПР, результаты расчет спинового эха с помощью матрицы плотности, экспериментальный спектр ЭПР, полученный методикой детектирования спинового эха, зависимость интенсивности линий ЭПР от частоты лазерной подсветки. 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). <a href="http://legalacts.ru/doc/gost-732-2001-mezhgosudarstvennyi-standart-sistema-standartov-po/">http://legalacts.ru/doc/gost-732-2001-mezhgosudarstvennyi-standart-sistema-standartov-po/</a>

Вид работ	Методические рекомендации
самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента. Самостоятельная работа студентов играет значительную роль в рейтинговой технологии обучения. В качестве самостоятельной работы студентам предлагается использовать поисковые научные системы WoS и Scopus для поиска самых актуальных научных статей по темам связанных одновременно как и с радиоспектроскопией конденсированных сред так и с темами их научных работ
экзамен	При подготовке к сдаче экзамена рекомендуется изучение материала лекций и основной и дополнительной литературы. На экзамене студент получает билет с двумя вопросами. Рекомендуется начинать с вопроса N1, как с относящегося к наиболее простому материалу курса. При подготовке к сдаче разрешается пользоваться литературой и конспектами лекций.

**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.

Специализированная лаборатория.

**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 03.04.03 "Радиофизика" и магистерской программе "Распределенные интеллектуальные системы".

### Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Направление подготовки: 03.04.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Распределенные интеллектуальные системы

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2022

#### Основная литература:

1. Бельская, Н. П. Ядерный магнитный резонанс. Теория и практика. В 3 ч. Ч. 2: учебное пособие / Бельская Н.П., Ельцов О.С., - 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: 10.05.2022). - Режим доступа: по подписке.
2. Осадько, И. С. Квантовая динамика молекул, взаимодействующих с фотонами, фононами и туннельными системами / И. С. Осадько. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2018. - 368 с. - ISBN 978-5-9221-1763-0. - Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/966424> (дата обращения: 10.05.2022). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. 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: 10.05.2022). - Режим доступа: по подписке.

#### Дополнительная литература:

1. Основы ядерного магнитного резонанса : учебное пособие / М.П. Евстигнеев, А.О. Лантушенко, В.В. Костюков [и др.]. - Москва : Вузовский учебник : ИНФРА-М, 2022. - 247 с. - ISBN 978-5-9558-0414-9. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1858556> (дата обращения: 10.05.2022). - Режим доступа: по подписке.
2. Сизиков, В. С. Прямые и обратные задачи восстановления изображений, спектроскопии и томографии с MatLab : учебное пособие / В. С. Сизиков. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 412 с. - ISBN 978-5-8114-2754-3. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/210080> (дата обращения: 10.05.2022). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Стационарный режим спектрометра ЭПР. Настройка спектрометра и измерение спектров ЭПР на примере спектрометра X-диапазона фирмы Брукер серии 'Elexsys' : учебно-методическое пособие / Ю.С. Кутьин, Г.В. Мамин, С.Б. Орлинский, А.В. Дуглав. Казань: Центр инновационных технологий, 2017. - 56 с. - [Текст: электронный ресурс] - URL: <http://dspace.kpfu.ru/xmlui/handle/net/116463> (дата обращения: 10.05.2022). - Режим доступа: для авториз. пользователей.

*Приложение 3  
к рабочей программе дисциплины (модуля)  
Б1.В.ДВ.03.02 Экспериментальные методы в квантовой  
радиофизики*

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

Направление подготовки: 03.04.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Распределенные интеллектуальные системы

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2022

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.