

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования "Пермский  
государственный национальный исследовательский  
университет"**

**Кафедра радиоэлектроники и защиты информации**

**Авторы-составители: Лунегов Игорь Владимирович  
Ажеганов Александр Сергеевич  
Золотарев Иван Владимирович**

Рабочая программа дисциплины  
**КВАНТОВАЯ РАДИОФИЗИКА**  
Код УМК 60412

Утверждено  
Протокол №4  
от «24» июня 2020 г.

Пермь, 2020

## **1. Наименование дисциплины**

Квантовая радиофизика

## **2. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина входит в вариативную часть Блока « Б.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление: **03.03.03** Радиофизика  
направленность Электроника, микро- и нанoeлектроника

### **3. Планируемые результаты обучения по дисциплине**

В результате освоения дисциплины **Квантовая радиофизика** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

**03.03.03** Радиофизика (направленность : Электроника, микро- и наноэлектроника)

**ОПК.7** способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач

**ПК.1** способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования

#### 4. Объем и содержание дисциплины

<b>Направления подготовки</b>	03.03.03 Радиофизика (направленность: Электроника, микро- и наноэлектроника)
<b>форма обучения</b>	очная
<b>№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины</b>	11
<b>Объем дисциплины (з.е.)</b>	3
<b>Объем дисциплины (ак.час.)</b>	108
<b>Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:</b>	42
<b>Проведение лекционных занятий</b>	28
<b>Проведение лабораторных работ, занятий по иностранному языку</b>	14
<b>Самостоятельная работа (ак.час.)</b>	66
<b>Формы текущего контроля</b>	Входное тестирование (1) Защищаемое контрольное мероприятие (2) Итоговое контрольное мероприятие (1)
<b>Формы промежуточной аттестации</b>	Зачет (11 триместр)

## **5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины**

### **Квантовая радиофизика. Первый семестр**

Дисциплина «Квантовая радиофизика» нацелена на формирование профессиональной компетенции выпускника:

- обладать базовыми теоретическими знаниями (в том числе по дисциплинам профилизации) в объеме, достаточном для решения профессиональных задач.

Содержание дисциплины охватывает круг проблем, связанных с квантовым характером явлений взаимодействия электромагнитного поля с веществом. Большое внимание уделено принципам работы приборов квантовой электроники, применению методов радио- и лазерной спектроскопии в физических исследованиях и для решения прикладных задач

#### **Излучение и поглощение электромагнитных волн веществом.**

Электромагнитное поле в стационарном состоянии. Свойства фотона. Когерентные фотонные состояния. Энергетические уровни квантовых систем. Заселенность энергетических уровней. Равновесная разность заселенностей. Спин-решеточная релаксация. Поглощение энергии электромагнитного поля квантовой системой. Эффект насыщения. Спонтанное и индуцированное излучение. Коэффициенты Эйнштейна. .

#### **Воздействие высокочастотного поля на квантовую систему**

Электронный и ядерный магнитные моменты Магнитные моменты атомов. Взаимодействие электронных и ядерных магнитных моментов с магнитными полями. Вращательные спектры молекул. Спектр молекулы аммиака. Причины уширения спектральных линий в радиоспектроскопии Магнитная структура атомных спектров. Квантовый стандарт частоты на пучке атомов цезия.

#### **Электронный и ядерный магнитные резонансы**

Явление магнитного резонанса. Спин-спиновое и спин-решеточное взаимодействия. Макроскопическая ядерная намагниченность. Уравнения Блоха. Эффективное поле. Дисперсия и поглощение Электронный парамагнитный резонанс. g-фактор. Тонкая и сверхтонкая структура линий. Ядерный магнитный резонанс. Стационарные методы регистрации спектров. Импульсные методы ЯМР, ядерная индукция и спиновое эхо. Многоимпульсные методы. Тонкая структура линий ЯМР в жидкостях, постоянная экранирования, химические сдвиги. ЯМР-томография. Ядерный квадрупольный резонанс. Автоматизация эксперимента. Приложения методов магнитного резонанса.

#### **Неравновесное состояние квантовых систем**

Характеристики неравновесных состояний квантовых систем. Отрицательная температура. Методы создания инверсных заселенностей уровней: оптической накачкой, инжекцией носителей, электронным ударом. Трехуровневые системы. Преимущества четырехуровневых систем. Методы создания инверсных заселенностей уровней в радиодиапазоне. .Возможность усиления в средах с инверсными заселенностями.

#### **Квантовые усилители и генераторы радиодиапазона**

Квантовые парамагнитные усилители радиодиапазона. Квантовый усилитель бегущей волны. Шум-фактор квантового парамагнитного усилителя. Квантовые парамагнитные усилители резонаторного типа. Конструирование квантовых парамагнитных усилителей. Условия самовозбуждения квантового генератора. Форма и ширина спектральной линии. Характеристики когерентности электромагнитного излучения. Сортировка молекулярных пучков по энергетическим состояниям в неоднородных полях. Квантовый генератор на пучке атомов водорода. Спектр излучения квантового генератора.

### **Основные типы лазеров. Газовые и твердотельные лазеры**

Открытые резонаторы. Твердотельные лазеры на примесных кристаллах и стеклах, на центрах окраски. Лазер на рубине. Газовые лазеры на нейтральных атомах, на смеси He-Ne ионные, молекулярные, на парах металлов. Лазеры на эксимерах, на красителях, химические.

### **Основные типы лазеров. Полупроводниковые и другие лазеры**

Неравновесные состояния в полупроводниках. Отрицательные температуры в полупроводниках. Инжекция носителей тока через p-p переход. Инжекционный лазер. Лазеры на свободных электронах. Плазменные лазеры. Принципы генерации рентгеновского излучения.

### **Нелинейная оптика**

Отклик среды на действие электромагнитного поля. Векторы поляризации и намагниченности среды. Связь поляризации среды с полем. Тензоры линейной и нелинейной восприимчивости вещества. Механизмы оптической нелинейности сред. Электронная нелинейность сред. Нелинейные восприимчивости атомов и молекул. Линейные и нелинейные восприимчивости кристаллов. Основные нелинейные кристаллы. Явление самофокусировки света. Многофотонное поглощение и вынужденное комбинационное рассеяние. Параметрические процессы: генерация гармоник, смешение частот, параметрическое рассеяние. Лазерная спектроскопия.

### **Электронный парамагнитный резонанс**

Лабораторная работа 1.

Ознакомление с методами ЭПР-спектроскопии и принципом работы спектрометра ЭПР непрерывного действия. Запись спектров со сверхтонким расщеплением и их расшифровка. Применение ЭПР в науке (физика, химия, биология) и технике.

### **Ядерный магнитный резонанс. Стационарный метод.**

Лабораторная работа 2.

Ознакомление со стационарным методом ЯМР и его использованием для прецизионного измерения индукции постоянного магнитного поля.

### **Ядерный магнитный резонанс в ферромагнетиках**

Лабораторная работа 3.

Ознакомление с ЯМР-методами исследования магнитоупорядоченных веществ и принципами работы импульсного ЯМР-релаксометра. Методы измерения времен спин-решеточной и спин-спиновой релаксации.

### **Ядерный магнитный резонанс. Импульсные методы.**

Лабораторная работа 4.

Ознакомление с многоимпульсными методами ЯМР и принципом работы автоматизированного многоимпульсного ЯМР-релаксометра. Многоимпульсные методы измерения времен спин-решеточной и спин-спиновой релаксации и их применения для исследования фазового состава веществ.

### **Ядерный квадрупольный резонанс.**

Лабораторная работа 5.

Ознакомление с методами спектроскопии ядерного квадрупольного резонанса и принципом действия импульсного ЯКР-релаксометра. Методы измерения частот ЯКР, градиента напряженности локального электрического поля в кристаллах, времен квадрупольной релаксации.

### **Когерентная оптика. Интерферометр Маха-Цендера**

Лабораторная работа 6.

Ознакомление с устройством и характеристиками полупроводникового инжекционного лазера и интерферометра Маха-Цендера. Приобретение опыта оптических измерений.

**Итоговая аттестация по дисциплине**

Итоговая оценка выставляется по результатам текущего контроля, прохождения лабораторного практикума в полном объеме и ответа на контрольные вопросы.

## **6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторские занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

## **7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

## 8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

### Основная:

1. Штыков В. В. Квантовая радиофизика: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки "Радиотехника" специальности 210301 "Радиофизика и электроника"/В. В. Штыков.-Москва: Академия, 2009, ISBN 978-5-7695-5311-0.-3341.-Библиогр.: с. 331-332
2. Шангина, Л. И. Квантовая и оптическая электроника : учебное пособие / Л. И. Шангина. — Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. — 301 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/13939>
3. Куприянова, Г. С. Практическая квантовая радиофизика : учебное пособие / Г. С. Куприянова. — Калининград : Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта, 2008. — 128 с. — ISBN 978-5-88874-855-8. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/23868>

### Дополнительная:

1. Дудкин В. И., Пахомов Л. Н. Квантовая электроника. Приборы и их применение: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки 140400 - "Техническая физика"/В. И. Дудкин, Л. Н. Пахомов.-Москва: Техносфера, 2006, ISBN 5-94836-076-8.-432.-Библиогр.: с. 430-432
2. Бакланов, Е. В. Основы лазерной физики : учебник / Е. В. Бакланов. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2017. — 131 с. — ISBN 978-5-7782-3368-3. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/91727.html>
3. Чижик В. И. Ядерная магнитная релаксация: учебное пособие/В. И. Чижик.-Санкт-Петербург: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2004, ISBN 5-288-03406-0.-388.-Библиогр.: с. 362-385
4. Практикум по магнитному резонансу: учебное пособие/Санкт-Петербургский государственный университет.-Санкт-Петербург: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2003, ISBN 5-288-02471-5.-184.
5. Воронов В. К., Сагдеев Р. З. Основы магнитного резонанса: учебное пособие для вузов/В. К. Воронов, Р. З. Сагдеев.-Иркутск: Восточно-Сибирское книжное издательство, 1995, ISBN 5-7424-0711-4.-352.
6. Квантовая радиофизика: учебное пособие/П. М. Бородин [и др.] ; ред. В. И. Чижик.-Санкт-Петербург: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2004, ISBN 5-288-02255-0.-689.-Библиогр.: с. 684-688

## 9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

: <http://www.iprbookshop.ru/13939.html> Шангина Л.И. Квантовая и оптическая электроника [Электронный ресурс]: учебное пособие/ — Томск: Томский государственный университет  
<http://www.iprbookshop.ru/23868.html> Куприянова Г.С. Практическая квантовая радиофизика [Электронный ресурс]: учебное пособие/ — Калининград: Балтийский федеральный у  
<http://www.chem.msu.su/rus/teaching/ustyniuk-nmr-lectures/> Ядерный магнитный резонанс  
[http://lib.sernam.ru/book\\_magr.php?id=12](http://lib.sernam.ru/book_magr.php?id=12) Ядерный магнитный резонанс  
<http://www.studfiles.ru/preview/5881052/page:3> Лазеры  
[http://cordon.in.ua/content/ruby\\_laser.php](http://cordon.in.ua/content/ruby_laser.php) Лазеры  
<http://laserphysics.narod.ru/active.html> Лазеры  
[http://edu.sernam.ru/lect\\_qe.php?id=15](http://edu.sernam.ru/lect_qe.php?id=15) Лазеры  
[http://online.mephi.ru/courses/physics/atomic\\_physics/data/course/6/6.3.html](http://online.mephi.ru/courses/physics/atomic_physics/data/course/6/6.3.html) Нелинейная оптика

## 10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Образовательный процесс по дисциплине **Квантовая радиофизика** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет приложений «LibreOffice».

Научная электронная библиотека: <http://elibrary.ru/>

Единое окно доступа к образовательным ресурсам: <http://window.edu.ru/>

Федеральный портал «Российское образование»: <http://www.edu.ru/>

Электронно-библиотечная система IPRbooks: <http://www.iprbookshop.ru/>

Электронная библиотека ПГНИУ. ELiS: <http://in.psu.ru/elis/>

Библиотека ПГНИУ BiblioTex: <https://psu.bibliotech.ru/Account/LogOn>

При освоении материала и выполнения заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ (**student.psu.ru**).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).

система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.

система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

## 11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для проведения лекционных занятий необходима аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Групповые (индивидуальные) консультации, мероприятия текущего контроля и промежуточной аттестации проводятся в аудитории, оснащенной презентационной техникой (проектор, экран для проектора, компьютер/ноутбук), а также меловой (и) или маркерной доской

Аудитория для лабораторных занятий. Лабораторные занятия проводятся в лаборатории квантовой

радиофизики.

Учебные места лаборатории квантовой радиофизики:

1. Стационарный спектрометр ядерного магнитного резонанса
2. Импульсный спектрометр-релаксометр ядерного ферромагнитного резонанса
3. Портативный релаксометр ЯМР 08/РС
4. Импульсный спектрометр-релаксометр ядерного квадрупольного резонанса
5. Спектрометр электронного парамагнитного резонанса ER-9
6. Полупроводниковый лазер и интерферометр Маха-Цендера
7. Измеритель магнитной индукции Ш1-9

Техническое оснащение лабораторного практикума обеспечивает получение практических навыков в работе с научными приборами, освоение методов экспериментального исследования физических явлений и процессов.

Техническое оснащение лаборатории квантовой радиофизики представлено в паспорте лаборатории.

Аудитория для самостоятельной работы.

Помещения библиотеки: персональные компьютеры с доступом к локальной и глобальной сетям и лаборатории Квантовой радиофизики

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютера с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.
2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.
3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.
4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.
5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.
6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

**Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине  
Квантовая радиофизика**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции и  
критерии их оценивания**

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p><b>ПК.1</b> способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования</p>	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- процессы спонтанного и индуцированного излучения;</li> <li>- методы создания инверсной заселенности уровней;</li> <li>- физические основы резонансного взаимодействия когерентного излучения с веществом;</li> <li>- релаксационные явления и основные механизмы уширения спектральных линий;</li> <li>- основы электронного магнитного резонанса;</li> <li>- стационарные методы регистрации спектров.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- пользоваться современной научно-технической информацией, необходимой для радиофизических измерений;</li> <li>- пользоваться основными измерительными приборами, используемыми в квантовой электронике,</li> <li>- освоить основные методы радиоспектроскопии и их применение для изучения физико-химического состояния вещества;</li> <li>- использовать и корректно интерпретировать полученные в результате радиофизических измерений данные;</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p>	<p align="center"><b>Неудовлетворител</b></p> <p>- оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если материал либо полностью не изучен, либо есть разделы в которых студент полностью не разбирается.</p> <p align="center"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>Общие, но не структурированные знания:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- процессов спонтанного и индуцированного излучения;</li> <li>- методов создания инверсной заселенности уровней;</li> <li>- физических основ резонансного взаимодействия когерентного излучения с веществом;</li> <li>- релаксационных явлений и основных механизмов уширения спектральных линий;</li> <li>- основ электронного парамагнитного резонанса;</li> <li>- стационарного метода регистрации спектров.</li> </ul> <p>Частично сформированное умение:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- пользоваться современной научно-технической информацией, необходимой для радиофизических измерений;</li> <li>- пользоваться основными измерительными приборами, используемыми в квантовой электронике,</li> <li>- освоить основные методы радиоспектроскопии и их применение для изучения физико-химического состояния вещества;</li> <li>- использовать и корректно интерпретировать полученные в результате радиофизических измерений данные;</li> </ul> <p>Частичное применение навыков:</p>

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
	<p>- терминологией и научно-технической литературой в области квантовой радиофизики и электроники;</p> <p>- навыками работы с лабораторным оборудованием и современной научной аппаратурой, используемыми в квантовой электронике;</p> <p>- навыками проведения физического эксперимента.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>- использования терминологии и научно-технической литературы в области квантовой радиофизики и электроники;</p> <p>- работы с лабораторным оборудованием и современной научной аппаратурой, используемой в квантовой электронике;</p> <p>- проведения физического эксперимента.</p> <p style="text-align: center;"><b>Хорошо</b></p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- процессов спонтанного и индуцированного излучения;</li> <li>- методов создания инверсной заселенности уровней;</li> <li>- физических основ резонансного взаимодействия когерентного излучения с веществом;</li> <li>- релаксационных явлений и основных механизмов уширения спектральных линий;</li> <li>- основ электронного парамагнитного резонанса;</li> <li>- стационарного метода регистрации спектров.</li> </ul> <p>В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- пользоваться современной научно-технической информацией, необходимой для радиофизических измерений;</li> <li>- пользоваться основными измерительными приборами, используемыми в квантовой электронике,</li> <li>- освоить основные методы радиоспектроскопии и их применение для изучения физико-химического состояния вещества;</li> <li>- использовать и корректно интерпретировать полученные в результате радиофизических измерений данные;</li> </ul> <p>Владение навыками:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использования терминологии и научно-технической литературы в области</li> </ul>

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;"><b>Хорошо</b></p> <p>квантовой радиофизики и электроники;  - работы с лабораторным оборудованием и современной научной аппаратурой, используемой в квантовой электронике;  - проведения физического эксперимента.</p> <p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <p>Сформированные систематические знания:  - процессов спонтанного и индуцированного излучения;  - методов создания инверсной заселенности уровней;  - физических основ резонансного взаимодействия когерентного излучения с веществом;  - релаксационных явлений и основных механизмов уширения спектральных линий;  - основ электронного парамагнитного резонанса;  - стационарного метода регистрации спектров.</p> <p>Сформированное умение:  - пользоваться современной научно-технической информацией, необходимой для радиофизических измерений;  - пользоваться основными измерительными приборами, используемыми в квантовой электронике,  - освоить основные методы радиоспектроскопии и их применение для изучения физико-химического состояния вещества;  - использовать и корректно интерпретировать полученные в результате радиофизических измерений данные;</p> <p>Успешное применение навыков:  - использования терминологии и научно-технической литературы в области квантовой радиофизики и электроники;  - работы с лабораторным оборудованием и современной научной аппаратурой, используемой в квантовой электронике;</p>

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p align="center"><b>Отлично</b></p> <p>- проведения физического эксперимента.</p>
<p><b>ОПК.7</b>  способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- процессы спонтанного и индуцированного излучения, коэффициенты Эйнштейна;</li> <li>- методы создания инверсной заселенности уровней;</li> <li>- основные типы лазеров и области их применения;</li> <li>- принципы работы полупроводниковых лазеров;</li> <li>- физические основы резонансного взаимодействия когерентного излучения с веществом;</li> <li>- релаксационные явления и основные механизмы уширения спектральных линий;</li> <li>- основы электронного и ядерного магнитного резонанса;</li> <li>- стационарные и импульсные методы регистрации спектров.</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- пользоваться современной научно-технической информацией, необходимой для радиофизических измерений;</li> <li>- пользоваться основными измерительными приборами, используемыми в квантовой электронике,</li> <li>- освоить основные методы радио- и лазерной спектроскопии и их применение для изучения физико-химического состояния вещества;</li> <li>- использовать и корректно интерпретировать полученные в результате радиофизических измерений данные;</li> </ul>	<p align="center"><b>Неудовлетворител</b></p> <p>- оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если материал либо полностью не изучен, либо есть разделы в которых студент полностью не разбирается.</p> <p align="center"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>Общие, но не структурированные знания:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- процессов спонтанного и индуцированного излучения, коэффициентов Эйнштейна;</li> <li>- методов создания инверсной заселенности уровней;</li> <li>- основных типов лазеров и области их применения;</li> <li>- физических основ резонансного взаимодействия когерентного излучения с веществом;</li> <li>- релаксационных явлений и основных механизмов уширения спектральных линий;</li> <li>- основ электронного и ядерного магнитного резонанса;</li> <li>- стационарных и импульсных методов регистрации спектров.</li> </ul> <p>Частично сформированное умение:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- пользоваться современной научно-технической информацией, необходимой для радиофизических измерений;</li> <li>- пользоваться основными измерительными приборами, используемыми в квантовой электронике,</li> <li>- освоить основные методы радиоспектроскопии и их применение для изучения физико-химического состояния вещества;</li> <li>- использовать и корректно интерпретировать полученные в результате радиофизических измерений данные;</li> </ul> <p>Частичное применение навыков:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использования терминологии и научно-</li> </ul>

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
	<p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- терминологией и научно-технической литературой в области квантовой радиофизики и электроники;</li> <li>- навыками работы с лабораторным оборудованием и современной научной аппаратурой, используемыми в квантовой электронике;</li> <li>- навыками проведения физического эксперимента.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>технической литературы в области квантовой радиофизики и электроники;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- работы с лабораторным оборудованием и современной научной аппаратурой, используемой в квантовой электронике;</li> <li>- проведения физического эксперимента.</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>Хорошо</b></p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- процессов спонтанного и индуцированного излучения, коэффициентов Эйнштейна;</li> <li>- методов создания инверсной заселенности уровней;</li> <li>- основных типов лазеров и области их применения;</li> <li>- физических основ резонансного взаимодействия когерентного излучения с веществом;</li> <li>- релаксационных явлений и основных механизмов уширения спектральных линий;</li> <li>- основ электронного и ядерного магнитного резонанса;</li> <li>- стационарных и импульсных методов регистрации спектров.</li> </ul> <p>В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- пользоваться современной научно-технической информацией, необходимой для радиофизических измерений;</li> <li>- пользоваться основными измерительными приборами, используемыми в квантовой электронике,</li> <li>- освоить основные методы радиоспектроскопии и их применение для изучения физико-химического состояния вещества;</li> <li>- использовать и корректно интерпретировать полученные в результате радиофизических измерений данные;</li> </ul> <p>Владение навыками:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использования терминологии и научно-</li> </ul>

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;"><b>Хорошо</b></p> <p>технической литературы в области квантовой радиофизики и электроники;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- работы с лабораторным оборудованием и современной научной аппаратурой, используемой в квантовой электронике;</li> <li>- проведения физического эксперимента.</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <p>Сформированные систематические знания:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- процессов спонтанного и индуцированного излучения, коэффициентов Эйнштейна;</li> <li>- методов создания инверсной заселенности уровней;</li> <li>- основных типов лазеров и области их применения;</li> <li>- физических основ резонансного взаимодействия когерентного излучения с веществом;</li> <li>- релаксационных явлений и основных механизмов уширения спектральных линий;</li> <li>- основ электронного и ядерного магнитного резонанса;</li> <li>- стационарных и импульсных методов регистрации спектров.</li> </ul> <p>Сформированное умение:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- пользоваться современной научно-технической информацией, необходимой для радиофизических измерений;</li> <li>- пользоваться основными измерительными приборами, используемыми в квантовой электронике,</li> <li>- освоить основные методы радиоспектроскопии и их применение для изучения физико-химического состояния вещества;</li> <li>- использовать и корректно интерпретировать полученные в результате радиофизических измерений данные;</li> </ul> <p>Успешное применение навыков:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использования терминологии и научно-технической литературы в области</li> </ul>

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> квантовой радиофизики и электроники; - работы с лабораторным оборудованием и современной научной аппаратурой, используемой в квантовой электронике; - проведения физического эксперимента.
<p><b>ОПК.7</b>            способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные квантовые процессы с участием фотонов, спонтанное и индуцированное излучение, коэффициенты Эйнштейна;</li> <li>- методы создания инверсной заселенности уровней;</li> <li>- физические принципы функционирования и основные характеристики квантовых усилителей и генераторов;</li> <li>- основные типы лазеров и области их применения;</li> <li>- принципы работы газовых лазеров, твердотельных лазеров, лазеров на красителях, лазеров на центрах окраски, полупроводниковых лазеров, рентгеновских лазеров, химических лазеров;</li> <li>- физические основы резонансного взаимодействия когерентного излучения с веществом;</li> <li>- релаксационные явления и основные механизмы уширения спектральных линий;</li> <li>- основы электронного и ядерного магнитных резонансов;</li> <li>- стационарные методы регистрации спектров, импульсные методы, ядерная индукция и спиновое эхо.</li> <li>- основные типы нелинейных и параметрических процессов при взаимодействии поля со средой.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Неудовлетворител</b></p> - оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если материал либо полностью не изучен, либо есть разделы в которых студент полностью не разбирается. <p style="text-align: center;"><b>Удовлетворительн</b></p> Общие, но не структурированные знания: - основных квантовых процессов с участием фотонов, спонтанного и индуцированного излучения, коэффициентов Эйнштейна; - методов создания инверсной заселенности уровней; - физических принципов функционирования и основных характеристик квантовых усилителей и генераторов; - основных типов лазеров и области их применения; - принципов работы газовых лазеров, твердотельных лазеров, лазеров на красителях, лазеров на центрах окраски, полупроводниковых лазеров, рентгеновских лазеров, химических лазеров; - физических основ резонансного взаимодействия когерентного излучения с веществом; - релаксационных явлений и основных механизмов уширения спектральных линий; - основ электронного и ядерного магнитного резонанса; - стационарных и импульсных методов регистрации спектров; - основных типов нелинейных и параметрических процессов при взаимодействии поля со средой. <p>Частично сформированное умение:            - пользоваться современной научно-технической информацией, необходимой для</p>

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
	<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– пользоваться современной научно-технической информацией, необходимой для радиофизических измерений;</li> <li>- применять полученные знания для работы с различными типами лазеров и лазерных систем;</li> <li>- пользоваться основными измерительными приборами, используемыми в квантовой электронике,</li> <li>-освоить основные методы радио- и лазерной спектроскопии и их применение для изучения физико-химического состояния вещества;</li> <li>– использовать и корректно интерпретировать полученные в результате радиофизических измерений данные;</li> </ul> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- терминологией и научно-технической литературой в области квантовой радиофизики и электроники;</li> <li>- навыками работы с лабораторным оборудованием и современной научной аппаратурой, используемыми в квантовой электронике;</li> <li>- навыками проведения физического эксперимента.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>радиофизических измерений;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- применять полученные знания для работы с различными типами лазеров и лазерных систем;</li> <li>- пользоваться основными измерительными приборами, используемыми в квантовой электронике,</li> <li>-освоить основные методы радио- и лазерной спектроскопии и их применение для изучения физико-химического состояния вещества;</li> <li>- использовать и корректно интерпретировать полученные в результате радиофизических измерений данные;</li> </ul> <p>Частичное применение навыков:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использования терминологии и научно-технической литературы в области квантовой радиофизики и электроники;</li> <li>- работы с лабораторным оборудованием и современной научной аппаратурой, используемой в квантовой электронике;</li> <li>- проведения физического эксперимента.</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>Хорошо</b></p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основных квантовых процессов с участием фотонов, спонтанного и индуцированного излучения, коэффициентов Эйнштейна;</li> <li>- методов создания инверсной заселенности уровней;</li> <li>- физических принципов функционирования и основных характеристик квантовых усилителей и генераторов;</li> <li>- основных типов лазеров и области их применения;</li> <li>- принципов работы газовых лазеров, твердотельных лазеров, лазеров на красителях, лазеров на центрах окраски, полупроводниковых лазеров, рентгеновских лазеров, химических лазеров;</li> <li>- физических основ резонансного взаимодействия когерентного излучения с</li> </ul>

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;"><b>Хорошо</b></p> <p>веществом;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- релаксационных явлений и основных механизмов уширения спектральных линий;</li> <li>- основ электронного и ядерного магнитного резонанса;</li> <li>- стационарных и импульсных методов регистрации спектров;</li> <li>- основных типов нелинейных и параметрических процессов при взаимодействии поля со средой.</li> </ul> <p>В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- пользоваться современной научно-технической информацией, необходимой для радиофизических измерений;</li> <li>- применять полученные знания для работы с различными типами лазеров и лазерных систем;</li> <li>- пользоваться основными измерительными приборами, используемыми в квантовой электронике,</li> <li>- освоить основные методы радио- и лазерной спектроскопии и их применение для изучения физико-химического состояния вещества;</li> <li>- использовать и корректно интерпретировать полученные в результате радиофизических измерений данные;</li> </ul> <p>Владение навыками:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использования терминологии и научно-технической литературы в области квантовой радиофизики и электроники;</li> <li>- работы с лабораторным оборудованием и современной научной аппаратурой, используемой в квантовой электронике;</li> <li>- проведения физического эксперимента.</li> </ul> <p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <p>Сформированные систематические знания:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основных квантовых процессов с участием фотонов, спонтанного и индуцированного излучения, коэффициентов Эйнштейна;</li> </ul>

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методов создания инверсной заселенности уровней;</li> <li>- физических принципов функционирования и основных характеристик квантовых усилителей и генераторов;</li> <li>- основных типов лазеров и области их применения;</li> <li>- принципов работы газовых лазеров, твердотельных лазеров, лазеров на красителях, лазеров на центрах окраски, полупроводниковых лазеров, рентгеновских лазеров, химических лазеров;</li> <li>- физических основ резонансного взаимодействия когерентного излучения с веществом;</li> <li>- релаксационных явлений и основных механизмов уширения спектральных линий;</li> <li>- основ электронного и ядерного магнитного резонанса;</li> <li>- стационарных и импульсных методов регистрации спектров;</li> <li>- основных типов нелинейных и параметрических процессов при взаимодействии поля со средой.</li> </ul> <p>Сформированное умение:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- пользоваться современной научно-технической информацией, необходимой для радиофизических измерений;</li> <li>- применять полученные знания для работы с различными типами лазеров и лазерных систем;</li> <li>- пользоваться основными измерительными приборами, используемыми в квантовой электронике,</li> <li>- освоить основные методы радио- и лазерной спектроскопии и их применение для изучения физико-химического состояния вещества;</li> <li>- использовать и корректно интерпретировать полученные в результате радиофизических измерений данные;</li> </ul> <p>Успешное применение навыков:</p>

<b>Компетенция</b>	<b>Планируемые результаты обучения</b>	<b>Критерии оценивания результатов обучения</b>
		<p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- использования терминологии и научно-технической литературы в области квантовой радиофизики и электроники;</li><li>- работы с лабораторным оборудованием и современной научной аппаратурой, используемой в квантовой электронике;</li><li>- проведения физического эксперимента.</li></ul>

## Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : СУОС

**Вид мероприятия промежуточной аттестации :** Зачет

**Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации :** Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

**Максимальное количество баллов :** 100

### Конвертация баллов в отметки

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 43 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 43 балла

Компетенция	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<b>Входной контроль</b>	Излучение и поглощение электромагнитных волн веществом. <b>Входное тестирование</b>	Проверка готовности студентов к освоению дисциплины «Квантовая радиофизика». Входной контроль необходимого минимума остаточных знаний по разделам курса общей физики, включая разделы атомной и ядерной физики, радиоэлектроники, квантовой механики. Доля правильных ответов на вопросы Входного тестирования. Количество баллов устанавливается равным проценту правильных ответов
<b>ПК.1</b> способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования	Электронный парамагнитный резонанс <b>Защищаемое контрольное мероприятие</b>	Балльной оценке подлежит защита отчета по выполненной лабораторной работе «Электронный парамагнитный резонанс». Минимальный (проходной) балл выставляется в случае, если студент справился с выполнением лабораторной работы, отчет составлен в соответствии с правилами, но содержит ряд не принципиальных погрешностей, студент допускает не принципиальные погрешности и неточности в ответе на теоретические вопросы по теме контролируемого раздела программы.

Компетенция	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<p><b>ПК.1</b> способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования</p> <p><b>ОПК.7</b> способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач</p>	<p>Ядерный магнитный резонанс. Стационарный метод.</p> <p><b>Защищаемое контрольное мероприятие</b></p>	<p>Балльной оценке подлежат результаты защиты отчетов по выполненным лабораторным работам «Ядерный магнитный резонанс. Стационарный метод», «Ядерный магнитный резонанс в ферромагнетиках», «Ядерный магнитный резонанс. Импульсные методы», «Ядерный квадрупольный резонанс», «Когерентная оптика. Интерферометр Маха-Цендера».</p> <p>Минимальный (проходной) балл выставляется в случае, если студент справился с выполнением лабораторных работ, отчеты составлены в соответствии с правилами, но содержит ряд не принципиальных погрешностей, студент допускает не принципиальные погрешности и неточности в ответах на теоретические вопросы по теме контролируемого раздела программы.</p>
<p><b>ПК.1</b> способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования</p> <p><b>ОПК.7</b> способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач</p>	<p>Итоговая аттестация по дисциплине</p> <p><b>Итоговое контрольное мероприятие</b></p>	<p>Для выставления проходного балла (оценки «зачтено») необходимо, чтобы студент показал знание основного материала в объеме, предусмотренном программой, в ответах на теоретические вопросы допускал не принципиальные погрешности, владел терминологией предмета, был знаком с основной литературой, рекомендованной программой дисциплины,</p> <p>Проходной балл (оценка «зачтено») не выставляется, если материал либо полностью не изучен, либо есть разделы, в которых студент полностью не разбирается.</p>

### Спецификация мероприятий текущего контроля

#### Излучение и поглощение электромагнитных волн веществом.

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **0**

Проходной балл: **0**

Показатели оценивания	Баллы
При тестировании допущено менее 10% ошибок	81
При тестировании допущено менее 30% ошибок	61
При тестировании допущено менее 50% ошибок	41
При тестировании допущено более 50% ошибок	0

### Электронный парамагнитный резонанс

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
при защите отчета показано знание теоретического материала в объеме, предусмотренном разделом программы	15
студент проявил необходимые навыки и умения работы с научной аппаратурой и проведения физического эксперимента	4
отчет выполнен аккуратно, содержит все необходимые пункты	4
результаты проведенных измерений содержат погрешности в пределах точности используемых приборов	3
выполнен расчет с соблюдением правил операций с приближенными числами и получены правильные значения искоемых физических величин	2
правильно написаны физические уравнения с указанием выбранной системы единиц	2

### Ядерный магнитный резонанс. Стационарный метод.

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
при защите отчета показано знание теоретического материала в объеме, предусмотренном разделом программы	15
студент проявил необходимые навыки и умения работы с научной аппаратурой и проведения физического эксперимента	4
отчет выполнен аккуратно, содержит все необходимые пункты	4
результаты проведенных измерений содержат погрешности в пределах точности используемых приборов	3
выполнен расчет с соблюдением правил операций с приближенными числами и получены правильные значения искоемых физических величин	2
правильно написаны физические уравнения с указанием выбранной системы единиц,	2

### Итоговая аттестация по дисциплине

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы самостоятельной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **17**

<b>Показатели оценивания</b>	<b>Баллы</b>
полнота, развернутость ответа на теоретические вопросы (наличие определений, формул, выводов формул, схем, примеров, поясняющих ответ)	20
знакомство с основной литературой, рекомендованной программой дисциплины	8
владение математическим аппаратом	8
владение терминологией предмета	4