

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра радиоэлектроники и защиты информации

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

**Рабочая программа дисциплины
КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА
Код УМК 90413**

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

Пермь, 2020

1. Наименование дисциплины

Квантовая электроника

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 наноэлектроника

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины **Квантовая электроника** 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

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

5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

Квантовая электроника. Первый семестр.

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.

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.

Электронный и ядерный магнитный резонанс.

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, инъекцией 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. Свойства лазерного излучения:

пространственная и временная когерентность, монохроматичность, расходимость.

Основные типы лазеров. Полупроводниковые и другие лазеры.

Неравновесные состояния в полупроводниках. Отрицательные температуры в полупроводниках. Инжекция носителей тока через р-п 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

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.

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

Ядерный магнитный резонанс в ферромагнетиках

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.

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.

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.

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. Иванов, И. Г. Основы квантовой электроники : учебное пособие / И. Г. Иванов. — Ростов-на-Дону : Издательство Южного федерального университета, 2011. — 174 с. — ISBN 978-5-9275-0873-0. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/47052.html>
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. Астайкин, А. И. Квантовые и оптоэлектронные приборы и устройства : учебное пособие / А. И. Астайкин, М. К. Смирнов ; под редакцией А. И. Астайкин. — Саров : Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, 2011. — 343 с. — ISBN 978-5-9515-0159-2. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/60849.html>

Дополнительная:

1. Дудкин В.И., Пахомов Л. Н. Квантовая электроника. Приборы и их применение: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по напр. подгот. 140400 - "Техн. физика"/В. И. Дудкин.- М.: Техносфера, 2006, ISBN 5-94836-076-8.-432.-Библиогр.: с. 430-432
2. 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
3. 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>
4. Шандаров, С. М. Введение в квантовую и оптическую электронику : учебное пособие / С. М. Шандаров, А. И. Башкирова. — Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. — 98 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/13922>
5. Практикум по магнитному резонансу: учебное пособие/Санкт-Петербургский государственный университет.-Санкт-Петербург: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2003, ISBN 5-288-02471-5.-184.
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
7. 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>

9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

<http://www.iprbookshop.ru/23868.html>. Куприянова Г.С. Практическая квантовая радиофизика [Электронный ресурс]: учебное пособие/ — Калининград: Балтийский федеральный у

<http://www.iprbookshop.ru/13939.html>. Шангина Л.И. Квантовая и оптическая электроника [Электронный ресурс]: учебное пособие/ — Томск: Томский государственный университе

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

Образовательный процесс по дисциплине **Квантовая электроника** 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 BiblioTech: <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

Лекционная аудитория.

Освоение дисциплины "Квантовая электроника" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Лекционная мультимедийная аудитория, вместимостью более 100 человек. Аудитория оснащена современными средствами воспроизведения и визуализации видео и аудио информации. Комплектация аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, и рабочего места преподавателя, включающего персональный компьютер (ноутбук), блок управления оборудованием, интерфейсы подключения. Рабочее место преподавателя объединяет все устройства в единую систему. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Студенты закрепляют и используют полученные теоретические знания при выполнении лабораторных работ.

Аудитория для лабораторных занятий.

Лабораторный практикум проводится в лаборатории квантовой радиофизики. В лаборатории

подготовлены рабочие места студентов. Все рабочие места оснащены современным экспериментальным оборудованием. Персональные компьютеры позволяют проводить обработку экспериментальных данных на рабочих местах. 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

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

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютерами 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 электроника**

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

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p>ПК.1 способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - процессы спонтанного и индуцированного излучения; - методы создания инверсной заселенности уровней; - физические основы резонансного взаимодействия когерентного излучения с веществом; - релаксационные явления и основные механизмы уширения спектральных линий; - основы электронного магнитного резонанса; - стационарные методы регистрации спектров. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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>Владеть:</p>	<p align="center">Неудовлетворител</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">Удовлетворительн</p> <p>Общие, но не структурированные знания:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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>Частично сформированное умение:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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>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;">Удовлетворительн</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;">Хорошо</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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>В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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>Владение навыками:</p> <ul style="list-style-type: none"> - использования терминологии и научно-технической литературы в области

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

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
	<p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - терминологией и научно-технической литературой в области квантовой радиофизики и электроники; - навыками работы с лабораторным оборудованием и современной научной аппаратурой, используемыми в квантовой электронике; - навыками проведения физического эксперимента. 	<p style="text-align: center;">Удовлетворительн</p> <ul style="list-style-type: none"> - работы с лабораторным оборудованием и современной научной аппаратурой, используемой в квантовой электронике; - проведения физического эксперимента. <p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания:</p> <ul style="list-style-type: none"> - процессов спонтанного и индуцированного излучения, коэффициентов Эйнштейна; - методов создания инверсной заселенности уровней; - основных типов лазеров и области их применения; - 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. <p>В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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>Владение навыками:</p> <ul style="list-style-type: none"> - использования терминологии и научно-технической литературы в области квантовой радиофизики и электроники;

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;">Хорошо</p> <ul style="list-style-type: none"> - работы с лабораторным оборудованием и современной научной аппаратурой, используемой в квантовой электронике; - проведения физического эксперимента. <p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>Сформированные систематические знания:</p> <ul style="list-style-type: none"> - процессов спонтанного и индуцированного излучения, коэффициентов Эйнштейна; - методов создания инверсной заселенности уровней; - основных типов лазеров и области их применения; - 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. <p>Сформированное умение:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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>Успешное применение навыков:</p> <ul style="list-style-type: none"> - использования терминологии и научно-технической литературы в области квантовой радиофизики и электроники; - работы с лабораторным оборудованием и современной научной аппаратурой,

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>используемой в квантовой электронике; - проведения физического эксперимента.</p>
<p>ОПК.7 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"> - основные квантовые процессы с участием фотонов, спонтанное и индуцированное излучение, коэффициенты Эйнштейна; - методы создания инверсной заселенности уровней; - физические принципы функционирования и основные характеристики квантовых усилителей и генераторов; - основные типы лазеров и области их применения; - принципы работы газовых лазеров, твердотельных лазеров, лазеров на красителях, лазеров на центрах окраски, полупроводниковых лазеров, рентгеновских лазеров, химических лазеров; - физические основы резонансного взаимодействия когерентного излучения с веществом; - релаксационные явления и основные механизмы уширения спектральных линий; - основы электронного и ядерного магнитных резонансов; - стационарные методы регистрации спектров, импульсные методы, ядерная индукция и спиновое эхо. - основные типы нелинейных и параметрических процессов при взаимодействии поля со средой. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> – пользоваться современной научно-технической 	<p style="text-align: center;">Неудовлетворител</p> <p>- оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если материал либо полностью не изучен, либо есть разделы в которых студент полностью не разбирается.</p> <p style="text-align: center;">Удовлетворительн</p> <p>Общие, но не структурированные знания:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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:</p> <ul style="list-style-type: none"> - пользоваться современной научно-технической информацией, необходимой для радиофизических измерений; - применять полученные знания для работы с различными типами лазеров и лазерных

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
	<p>информацией, необходимой для радиофизических измерений;</p> <ul style="list-style-type: none"> - применять полученные знания для работы с различными типами лазеров и лазерных систем; - пользоваться основными измерительными приборами, используемыми в квантовой электронике, - освоить основные методы радио- и лазерной спектроскопии и их применение для изучения физико-химического состояния вещества; – использовать и корректно интерпретировать полученные в результате радиофизических измерений данные; <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - терминологией и научно-технической литературой в области квантовой радиофизики и электроники; - навыками работы с лабораторным оборудованием и современной научной аппаратурой, используемыми в квантовой электронике; - навыками проведения физического эксперимента. 	<p style="text-align: center;">Удовлетворительн</p> <p>систем;</p> <ul style="list-style-type: none"> - пользоваться основными измерительными приборами, используемыми в квантовой электронике, -освоить основные методы радио- и лазерной спектроскопии и их применение для изучения физико-химического состояния вещества; - использовать и корректно интерпретировать полученные в результате радиофизических измерений данные; <p>Частичное применение навыков:</p> <ul style="list-style-type: none"> - использования терминологии и научно-технической литературы в области квантовой радиофизики и электроники; - работы с лабораторным оборудованием и современной научной аппаратурой, используемой в квантовой электронике; - проведения физического эксперимента. <p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>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> <p>В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения: - пользоваться современной научно-технической информацией, необходимой для радиофизических измерений; - применять полученные знания для работы с различными типами лазеров и лазерных систем; - пользоваться основными измерительными приборами, используемыми в квантовой электронике, - освоить основные методы радио- и лазерной спектроскопии и их применение для изучения физико-химического состояния вещества; - использовать и корректно интерпретировать полученные в результате радиофизических измерений данные;</p> <p>Владение навыками: - использования терминологии и научно-технической литературы в области 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;">Отлично</p> <p>Сформированные систематические знания: - основных квантовых процессов с участием фотонов, спонтанного и индуцированного излучения, коэффициентов Эйнштейна; - методов создания инверсной заселенности уровней;</p>

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;">Отлично</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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>Сформированное умение:</p> <ul style="list-style-type: none"> - пользоваться современной научно-технической информацией, необходимой для радиофизических измерений; - применять полученные знания для работы с различными типами лазеров и лазерных систем; - пользоваться основными измерительными приборами, используемыми в квантовой электронике, - освоить основные методы радио- и лазерной спектроскопии и их применение для изучения физико-химического состояния вещества; - использовать и корректно интерпретировать полученные в результате радиофизических измерений данные; <p>Успешное применение навыков:</p> <ul style="list-style-type: none"> - использования терминологии и научно-технической литературы в области

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		Отлично квантовой радиофизики и электроники; - работы с лабораторным оборудованием и современной научной аппаратурой, используемой в квантовой электронике; - проведения физического эксперимента.

Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : Базовая

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
Входной контроль	Излучение и поглощение электромагнитных волн веществом. Входное тестирование	Проверка готовности студентов к освоению дисциплины «Квантовая электроника». Контроль необходимого минимума остаточных знаний по разделам курса общей физики. Доля правильных ответов на вопросы Входного тестирования. Количество баллов устанавливается равным проценту правильных ответов.

Компетенция	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<p>ПК.1 способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования</p>	<p>Электронный парамагнитный резонанс Защищаемое контрольное мероприятие</p>	<p>Балльной оценке подлежит защита отчета по выполненной лабораторной работе «Электронный парамагнитный резонанс». Отчет должен включать следующие пункты: 1. Название работы, 2. Фамилия, И.О., курс, группа исполнителя, 3. Задачи, поставленные преподавателем, 4. Краткая теория, основные формулы для расчета, 5. Схема установки, использованные приборы и принадлежности, 6. Таблица измерений. 7. Расчеты, графики. 8. Оценка погрешностей (если есть указания). 9. Выводы. 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.</p>

Компетенция	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<p>ОПК.7 способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач</p>	<p>Когерентная оптика. Интерферометр Маха-Цендера. Защищаемое контрольное мероприятие</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>ПК.1 способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования</p> <p>ОПК.7 способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач</p>	<p>Итоговая аттестация по дисциплине Итоговое контрольное мероприятие</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 самостоятельной 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 самостоятельной 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
результаты проведенных измерений содержат погрешности в пределах точности используемых приборов	3
отчет выполнен аккуратно, содержит все необходимые пункты	2
правильно написаны физические уравнения с указанием выбранной системы единиц	2
выполнен расчет с соблюдением правил операций с приближенными числами и получены правильные значения искомых физических величин	2
правильно построена схема экспериментальной установки с обозначением всех элементов	2

Когерентная оптика. Интерферометр Маха-Цендера.

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

Условия проведения мероприятия: **в часы самостоятельной 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
результаты проведенных измерений содержат погрешности в пределах точности используемых приборов	3
отчет выполнен аккуратно, содержит все необходимые пункты	2
правильно написаны физические уравнения с указанием выбранной системы единиц,	2
правильно построена схема экспериментальной установки с обозначением всех элементов	

	2
выполнен расчет с соблюдением правил операций с приближенными числами и получены правильные значения искомых физических величин	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**

Показатели оценивания	Баллы
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