МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Кафедра интеллектуальных информационных радиофизических систем

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета
_____ И.С. Огнев
(подпись)

«17» мая 2022 г.

Рабочая программа дисциплины
«Квантовая радиофизика»

Направление подготовки
03.03.03 Радиофизика

Направленность (профиль)
Телекоммуникационные системы и технологии

Форма обучения
очная

Программа одобрена
на заседании кафедры
от «28» апреля 2022 года, протокол № 9

Программа одобрена НМК
физического факультета
протокол № 5 от «11» мая 2022 года

Ярославль

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Квантовая радиофизика» является изучение основ квантовой теории взаимодействия излучения с веществом. Рассмотрены квантовая теория свободного электромагнитного поля, квантовая теория взаимодействия поля с веществом. Механизмы уширения спектральных линий, релаксация, квантовая кинетика рассматриваются с позиций квантовых статистических ансамблей. Курс включает в себя обсуждение наиболее ярких проявлений квантовых эффектов в эксперименте и последние достижения в их теоретическом описании.

2. Место дисциплины в структуре ОП бакалавриата

Дисциплина «Квантовая радиофизика» относится к базовой части Блока 1 образовательной программы и входит в модуль «Электроника».

Для освоения данной дисциплиной студенты должны владеть математическим аппаратом векторного и тензорного анализа, линейной алгебры, дифференциального исчисления, уметь решать основные типы дифференциальных уравнений, знать основы квантовой физики и теории вероятности.

Полученные в курсе «Квантовая радиофизика» знания необходимы для понимания физических принципов функционирования и основных характеристик квантовых усилителей и генераторов в процессе работы с ними на производстве, а также для продолжения обучения в магистратуре по направлению Радиофизика.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	**Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)**	**Перечень планируемых результатов обучения**
Общепрофессиональные компетенции		
ОПК-1 Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности	**ИД-ОПК-1.2** Применяет математический аппарат, физические законы и теории для решения прикладных и теоретических задач, в том числе педагогической деятельности	**Знать:** – современное представление о фотонной структуре электромагнитного поля, – об особенностях однофотонного и многофотонного взаимодействия поля с веществом и их конкретном проявлении при преобразовании, усилении и генерации когерентного электромагнитного излучения в квантовых усилителях и генераторах радио- и оптического диапазонов длин волн; – концептуальное понимание механизмов создания и функционирования квантовые усилителей и генераторов. **Уметь:** – рассчитывать вероятности нахождения

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
		квантовой системы в определённом состоянии и вероятности квантовых переходов различных типов. **Владеть навыками:** – построения и чтения энергетических диаграмм квантовых систем.

4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 акад. часа.

Дисциплина реализуется с применением дистанционных образовательных технологий (ДОТ), предоставляемых образовательной площадкой «Электронный университет Moodle ЯрГУ».

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации *(по семестрам)* *Формы ЭО и ДОТ (при наличии)*
			Контактная работа						
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания	самостоятельная работа	
1	Введение.	8	1					1	
	в том числе с ЭО и ДОТ							0,5	
2	Квантовая теория взаимодействия электромагнитного поля с веществом	8	4	8		1		2	Коллоквиум по темам для самостоятельной работы. Вопросы из списка к зачёту.
	в том числе с ЭО и ДОТ							1	
3	Лазер	8	1	4		0,5		2	Коллоквиум по темам для самостоятельной работы. Вопросы из списка к зачёту.
	в том числе с ЭО и ДОТ							1	
4	Квантовый генератор на пучке молекул аммиака	8	1	3		0,5		2	Коллоквиум по темам для самостоятельной работы. Вопросы из списка к зачёту.
	в том числе с ЭО и ДОТ							1	
5	Стандарты частоты и времени	8	1	1		0,5		2	Коллоквиум по темам для самостоятельной работы. Вопросы из списка к зачёту.
	в том числе с ЭО и ДОТ							1	
6	Ядерный магнитный резонанс	8	2	4		0,5		2	Вопросы из списка к зачёту.

	в том числе с ЭО и ДОТ							1	
7	Полупроводниковые лазеры	8	2	4		0,5		2	Коллоквиум по темам для самостоятельной работы. Вопросы из списка к зачёту.
	в том числе с ЭО и ДОТ							1	
8	Приборы управления лазерным излучением	8	1	2		0,5		2	Вопросы из списка к зачёту.
	в том числе с ЭО и ДОТ							1	
9	Волоконные лазеры и лазерные усилители	8	1	2		0,5		1	Коллоквиум по темам для самостоятельной работы. Вопросы из списка к зачёту.
	в том числе с ЭО и ДОТ							0,5	
10	Фотоприёмники	8	1	2		0,5		2	Вопросы из списка к зачёту.
	в том числе с ЭО и ДОТ							1	
		8					0,3	2,7	Зачёт
	в том числе с ЭО и ДОТ							1	Тест для самопроверки по результатам освоения дисциплины *ЭУК в LMS Moodle*
	Всего за 8 семестр 72 часа		**15**	**30**		**5**	**0,3**	**21,7**	
	в том числе с ЭО и ДОТ							**10**	
	ИТОГО		**15**	**30**		**5**	**0,3**	**21,7**	
	в том числе с ЭО и ДОТ							**10**	

Примечание: объем (в часах) самостоятельной работы в рамках установленного данной РПД количества часов, выполняемой студентом с применением ЭО и ДОТ (в ЭУК «Квантовая радиофизика» в LMS Moodle), определяется каждым студентов в зависимости от уровня его подготовки и способов выполнения данного вида работ.

Содержание разделов дисциплины

Раздел 1
Введение

1.1. Предмет и историческая справка развития квантовой радиофизики.
1.2. Частица в однородной бесконечно глубокой потенциальной яме.

Раздел 2
Квантовая теория взаимодействия электромагнитного поля с веществом

2.1. Вероятность квантового перехода.
2.2. Взаимодействие электромагнитного поля с веществом.
2.3. Электродипольное взаимодействие.
2.4. Вероятность адсорбции и вынужденного испускания.
2.5. Вероятность перехода в случае немонохроматической волны.
2.6. Взаимодействие теплового излучения с частицей.
2.7. Спонтанное излучение.

2.8. Соотношения Эйнштейна.
2.9. Взаимодействие внешнего поля и квантовых объектов в состоянии термодинамического равновесия.

Раздел 3
Лазер

3.1. Принцип работы лазера.
3.2. Расходимость луча.
3.3. Резонатор.
3.4. Условие генерации.

Раздел 4
Квантовый генератор на пучке молекул аммиака

4.1. Спектры молекулы аммиака.
4.2. Устройство квантового генератора на пучке молекул аммиака (мазер).
4.3. Условие реализации мазерного излучения в резонаторе.

Раздел 5
Стандарты частоты и времени

5.1. Устройство генератора на пучке атомов водорода.
5.2. Цезиевый стандарт частоты и времени.

Раздел 6
Ядерный магнитный резонанс

Изучение вещества магниторезонансным методом.

Раздел 7
Полупроводниковые лазеры

7.1. Зонная структура полупроводника.
7.2. Статистика Ферми-Дирака.
7.3. Лазер на полупроводниковом гомо-p-n-переходе.
7.4. Полупроводниковые гетероструктуры.
7.5. Лазер на двойной гетероструктуре (ДГС-лазер).
7.6. Гетеролазер с раздельным электронным и оптическим ограничениями (РОДГС-лазер).
7.7. Гетеролазер с распределенной обратной связью (РОДГС РОС-лазер).

Раздел 8
Приборы управления лазерным излучением

8.1. Линейный и квадратичный электрооптические эффекты.
8.2. Магнитооптический эффект.
8.3. Пьезооптический эффект.
8.4. Оптический модулятор.
8.5. Электрооптический дефлектор.
8.6. Акустооптический дефлектор.
8.7. Нелинейные оптические эффекты.

8.8. Параметрические преобразователи частоты.
8.9. Параметрический оптический генератор.

Раздел 9
Волоконные лазеры и лазерные усилители

9.1. Волоконный лазер на основе кварцевого волокна активированного ионами эрбия.

Раздел 10
Фотоприёмники

10.1. Характеристики фотоприёмников.
10.2. Фотовольтаические эффекты в неоднородных структурах.
10.3. p-i-n-фотодиод.
10.4. Лавинный фотодиод.

5. Образовательные технологии, в том числе технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

Вводная лекция – дает первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

Академическая лекция (или лекция общего курса) – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Требования к академической лекции: современный научный уровень и насыщенная информативность, убедительная аргументация, доступная и понятная речь, четкая структура и логика, наличие ярких примеров, научных доказательств, обоснований, фактов.

Практическое занятие – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков и закреплению полученных на лекции знаний.

В процессе обучения используются следующие технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии:

Электронный учебный курс «Квантовая радиофизика» в LMS Электронный университет Moodle ЯрГУ, в котором:

- представлены тексты лекций по отдельным темам дисциплины;
- осуществляется проведение отдельных мероприятий текущего контроля успеваемости студентов;
- представлен список учебной литературы, рекомендуемой для освоения дисциплины;
- представлена информация о форме и времени проведения консультаций по дисциплине в режиме онлайн;

- посредством форума осуществляется синхронное и (или) асинхронное взаимодействие между обучающимися и преподавателем в рамках изучения дисциплины;
- представлены правила прохождения аттестации по дисциплине.

6. Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

для формирования материалов для текущего контроля успеваемости и проведения промежуточной аттестации, для формирования методических материалов по дисциплине:

- программы Microsoft Office;
- издательская система LaTex;
- Adobe Acrobat Reader.

7. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT» http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости), рекомендуемых для освоения дисциплины

а) основная литература

1. Афонин, А. А., Квантовая радиофизика: учеб. пособие для вузов / А. А. Афонин ; Яросл. гос. ун-т, Ярославль, ЯрГУ, 2009, 98с.
2. Штыков, В. В., Квантовая радиофизика: учеб. пособие для вузов / В. В. Штыков, М., Академия, 2009, 335с.
3. Квантовая радиофизика: учеб. пособие для вузов / под ред. В. И. Чижика, СПб., Изд-во СПбГУ, 2004, 688с.
4. Щука, А. А. Электроника в 4 ч. Часть 3. Квантовая и оптическая электроника : учебник для вузов / А. А. Щука, А. С. Сигов ; ответственный редактор А. С. Сигов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 117 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-01870-7. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/470590

б) дополнительная литература

1. Куприянова Г. С. Практическая квантовая радиофизика: учеб. пособие для вузов. / Г. С. Куприянова; Ред.-издат. совет Рос. гос. ун-та им. И. Канта - Калининград: Изд-во РГУ им. И. Канта, 2008. - 127 с.
2. Пихтин А. Н. Оптическая и квантовая электроника: учебник для вузов. / А. Н. Пихтин; М-во образования РФ - М.: Высшая школа, 2001. - 573 с.
3. Красавин, А. В. Компьютерный практикум в среде matlab : учебное пособие для вузов / А. В. Красавин, Я. В. Жумагулов. — 2-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2021.

— 277 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-08509-9. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/474783

в) ресурсы сети «Интернет»

1. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ (http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php).

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа;
- учебные аудитории для проведения практических занятий (семинаров);
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций,
- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

Специальные помещения укомплектованы средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде ЯрГУ.

Автор:

Старший преподаватель кафедры инфокоммуникаций и радиофизики		А.А. Афонин
должность, ученая степень	*подпись*	*И.О. Фамилия*

Приложение №1 к рабочей программе дисциплины
«Квантовая радиофизика»

Фонд оценочных средств
для проведения текущей и промежуточной аттестации студентов
по дисциплине

1. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

1.1 Контрольные задания и иные материалы, используемые в процессе текущей аттестации

Задания для самостоятельной работы

Вычисление энергетических уровней квантовых систем.
Условие генерации лазера.
Условие генерации мазера на молекулах аммиака.
Условие генерации мазера на атомах водорода.
Варианты построения волоконно-оптических усилителей.

2. Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации

Тест для самопроверки по результатам освоения дисциплины перед зачётом (тест проводится в ЭУК «Квантовая радиофизика» в LMS Moodle)

В тесте 32 вопроса, за правильный ответ на каждый вопрос дается 1 балл. На прохождение теста дается время 1 час.

Количество набранных баллов не менее 70% от максимума соответствует оценке «зачтено».

Количество баллов меньше 70% соответствует оценке «не зачтено».

<u>Примерные вопросы теста:</u>

1. В формуле вероятности перехода дайте соответствие обозначений их названиям.
2. В формуле вероятности перехода при не монохроматическом воздействии дайте соответствие обозначений их названиям.
3. Отношение количества электронов, размещённых на разных квантовых уровнях в состоянии термодинамического равновесия, подчиняется формуле (выбрать из представленных вариантов).
4. Характерные частоты лазера на розовом рубине (выбрать из представленных вариантов).
5. Использование квантоворазмерных структур в активной области РОДГС-лазеров позволяет (выбрать из представленных вариантов).
6. Составные части любого лазера.

7. Уровень лазерной системы, на котором накапливаются заряды, прежде чем сформировать лавину, называется (выбрать из представленных вариантов).
8. Назовите 4 эффекта, возникающие в гетероструктурах, которые используются при создании лазеров.
9. Энергетические переходы в спектре какого типа используются в мазере на молекулах аммиака?
10. Частота какого стандарта частоты в точности выражена в целых единицах СИ [Гц]?
11. Пьезооптический эффект возникает под действием (выбрать из представленных вариантов).
12. Как называется рабочее вещество, используемое в люминесцентных преобразователях частоты.
13. Если на нелинейный кристалл падают две волны, то в квадратичном приближении нелинейности кристаллом будут излучатся электромагнитных волн на частотах (выбрать из представленных вариантов).
14. ЯМР будет наблюдаться в атомах и молекулах следующих типов (выбрать из представленных вариантов).
15. Какому типу фотодиода соответствует следующая зависимость фототока от энергии падающих квантов излучения (выбрать из представленных вариантов).
16. Толщина освещаемой p-области полупроводникового фотодиода должна быть (выбрать из представленных вариантов).

Список вопросов к зачёту

1. Частица в однородной бесконечно глубокой потенциальной яме.
2. Вероятность квантового перехода из состояния E_n в состояние E_m под действием внешнего поля.
3. Взаимодействие электромагнитного поля с веществом.
4. Электродипольное взаимодействие. Вероятность адсорбции и индуцированного испускания.
5. Вероятность перехода в случае немонохроматической волны.
6. Взаимодействие теплового излучения с частицей.
7. Спонтанное излучение. Соотношения Эйнштейна.
8. Взаимодействие внешнего поля и квантовых объектов в состоянии термодинамического равновесия.
9. Принцип работы лазера. Расходимость луча. Резонатор. Условие генерации.
10. Зонная структура полупроводника. Условие генерации полупроводникового лазера.
11. Принцип работы лазера на гомо-p-n-переходе.
12. Гетеро-p-n-переход. Эффекты, возникающие в нем. Устройство ДГС-лазера.
13. Пороговая плотность тока инжекционного ДГС-лазера.
14. Гетеролазеры с раздельным электронным и оптическим ограничением (РОДГС-лазеры). Гетеролазеры с распределенной обратной связью (РОДГС РОС-лазеры).
15. Волоконный лазерный усилитель.
16. Молекула аммиака. Вращательный спектр. Инверсионный спектр.
17. Устройство квантового генератора на пучке молекул аммиака (мазера).
18. Условие реализации мазерного излучения в резонаторе.
19. Устройство генератора на пучке атомов водорода.
20. Цезиевый стандарт частоты и времени. Раби- и Рамзей-резонанс.
21. Приборы управления лазерным излучением. Электрооптические эффекты.
22. Приборы управления лазерным излучением. Магнитооптические и пьезооптические эффекты.

23. Изменение показателя преломления при электрооптическом эффекте на примере кристалла KDP.
24. Электрооптический амплитудный модулятор.
25. Электрооптический и акустооптический дефлекторы. Условие дифракции Брегга при акустооптическом эффекте.
26. Разрешающая способность акустооптического дефлектора.
27. Преобразователи частоты. Нелинейные оптические эффекты.
28. Параметрические преобразователи частоты. Условие волнового синхронизма.
29. Параметрический оптический генератор.
30. Преобразователь частоты на акустооптическом эффекте.
31. Фотоприёмники. Характеристики фотоприёмников.
32. Фотовольтаические эффекты в неоднородных структурах.
33. p-i-n-фотодиод. Лавинный фотодиод.
34. Ядерный магнитный резонанс. Расщепление уровней под действием сильного магнитного поля.
35. Изучение вещества магниторезонансным методом.
36. Квантовые усилители на электронном парамагнитном резонансе.

Правила выставления оценки на зачёте

В билет включается один теоретический вопрос. На подготовку к ответу дается не менее 0,5 часа.

По итогам зачёта выставляется одна из оценок: «зачтено», «не зачтено».

Критерии оценивания ответов на вопросы билета

Критерий	**Пороговый уровень (на «зачтено»)**
Соответствие ответа вопросу	Хотя бы частичное (*не относящееся к вопросу не подлежит проверке*)
Наличие примеров	Имеются отдельные примеры
Содержание ответа	Понятийные вопросы изложены с классификациями, проблемные с постановкой проблемы и изложением различных точек зрения. Имеются ошибки или пробелы.