

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет
Кафедра радиофизики**

академик РАН



УТВЕРЖДАЮ

Декан ФФ

А. Е. Бондарь

« 04 » 10 2020 г.

Рабочая программа дисциплины

КВАНТОВЫЕ ПРИБОРЫ СВЧ

Направление подготовки: 03.04.02 Физика, Курс 1, семестр 2
направленность (профиль): Общая и фундаментальная физика

Форма обучения
Очная

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	72	24	8		18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачетные единицы из них: - контактная работа 36 часов - в интерактивных формах 8 часов Компетенции ПК-1, ПК-2										

Разработчик:
ст. преп.

И. о. зав. кафедрой радиофизики ФФ НГУ
к.т.н., доц.

Руководитель программы
д.ф.-м.н.

К.Н. Чернов

Г. А. Фатькин

И.Б. Логашенко

Новосибирск 2020

Содержание

Аннотация.....	3
1. Перечень планируемых результатов обучения, по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.....	4
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.....	5
4. Структура и содержание дисциплины.....	5
5. Перечень учебной литературы.	8
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	8
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	8
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	9
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	9
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	9

Аннотация
к рабочей программе дисциплины «Квантовые приборы СВЧ»
Направление: 03.04.02 Физика
Направленность (профиль): Общая и фундаментальная физика

Программа курса «Квантовые приборы СВЧ» составлена в соответствии с требованиями СУОС НГУ по направлению подготовки: **03.04.02 Физика, направленность «Общая и фундаментальная физика»**, а также задачами, стоящими перед Новосибирским государственным университетом по реализации Программы развития НГУ. Дисциплина реализуется на Физическом факультете Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ) кафедрой радиофизики в качестве дисциплины по выбору в весеннем семестре.

Дисциплина «Квантовые приборы СВЧ» имеет своей целью: ознакомление с физическими основами работы и принципами устройства различных квантовых приборов СВЧ, в том числе с методами генерации, усиления и умножения частоты электромагнитных колебаний СВЧ и оптического диапазонов, а также изучение основных характеристик, параметров и важнейших свойств, определяющих их применение для тех или иных исследований. Дисциплина служит формированию у выпускника следующих профессиональных компетенций:

ПК-1 – способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта (в части формирования знаний методов и способов постановки и решения задач генерирования и усиления электромагнитных волн с высокой стабильностью частоты).

ПК-2 – способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности (в части использования полученных знаний в области радиофизических исследований и профессиональной деятельности).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать: методы алгебры, математического анализа и решения дифференциальных уравнений; физические основы и явления, используемые в тех или иных приборах СВЧ, особенности квантовых приборов СВЧ; методы и способы постановки и решения задач генерирования и усиления электромагнитных волн с высокой стабильностью частоты;

Уметь: решать типовые задачи, связанные с применением квантовых приборов СВЧ, в конкретном случае выбрать электронный прибор адекватный решению данной проблемы;

Владеть: навыками выполнения физических исследований при решении научно-исследовательских и производственных задач с использованием современной аппаратуры и вычислительных средств; представлением о современном состоянии развития квантовых приборов для научных и практических целей.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, самостоятельная работа студента, индивидуальные задания, консультация, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль: посещаемость, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателем с помощью проверки индивидуальных заданий.

Промежуточная аттестация: экзамен

Общая трудоемкость дисциплины составляет **2** зачетные единицы, **72** академических часа.

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Дисциплина «Квантовые приборы СВЧ» имеет своей целью: ознакомление с физическими основами работы и принципами устройства различных квантовых приборов СВЧ, в том числе с методами генерации, усиления и умножения частоты электромагнитных колебаний СВЧ и оптического диапазонов, а также изучение основных характеристик, параметров и важнейших свойств, определяющих их применение для тех или иных исследований.

В настоящее время к разработке и использованию квантовых приборов во всем мире проявляется повышенный интерес, что объясняется их уникальными свойствами. Атомные и молекулярные квантовые генераторы СВЧ характеризуются чрезвычайно высокой стабильностью частоты излучаемых ими электромагнитных волн. Основным достоинством квантовых парамагнитных усилителей СВЧ является крайне низкий уровень собственных шумов и, как следствие, чрезвычайно высокая чувствительность. Развитие многоканальной связи и непрерывный рост объема передаваемой информации стимулирует освоение диапазонов все более высоких частот.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующих профессиональных компетенций:

ПК-1 – способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта (в части формирования знаний методов и способов постановки и решения задач генерирования и усиления электромагнитных волн с высокой стабильностью частоты).

ПК-2 – способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности (в части использования полученных знаний в области радиофизических исследований и профессиональной деятельности).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать

- методы алгебры, математического анализа и решения дифференциальных уравнений; физические основы и явления, используемые в тех или иных приборах СВЧ, особенности квантовых приборов СВЧ (ПК-2.1);
- методы и способы постановки и решения задач генерирования и усиления электромагнитных волн с высокой стабильностью частоты (ПК-1.1):

Уметь

- решать типовые задачи, связанные с применением квантовых приборов СВЧ (ПК-1.2);
- в конкретном случае выбрать электронный прибор адекватный решению данной проблемы (ПК-2.2).

Владеть

- навыками выполнения физических исследований при решении научно-исследовательских и производственных задач с использованием современной аппаратуры и вычислительных средств (ПК-1.3);
- представлением о современном состоянии развития квантовых приборов для научных и практических целей (ПК-2.3).

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Квантовые приборы СВЧ» реализуется в весеннем семестре 1-го курса для магистрантов, обучающихся по направлению подготовки 03.04.02 Физика. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой радиофизики.

Студенты, приступающие к изучению этой дисциплины, должны иметь общую базовую подготовку в рамках программы обучения в бакалавриате по направлению подготовки 03.03.02 Физика, в том числе:

- владеть математическим аппаратом линейной алгебры, математического анализа, теории функций комплексного переменного, дифференциальных уравнений.
- знать основы теории поля, электродинамики, электротехники и радиотехники, схемотехники, физики ускорителей заряженных частиц.

- иметь практический опыт СВЧ измерений.

Результаты освоения курса используются в следующих дисциплинах:

- Прецизионные системы питания ЭФУ;
- Теория колебаний.

Освоение дисциплины необходимо при подготовке и выполнении выпускной квалификационной работы.

3. Трудоемкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	72	24	8		18	18	2			2
<p>Всего 72 часа / 2 зачетные единицы из них: - контактная работа 36 часов - в интерактивных формах 8 часов</p> <p>Компетенции ПК-1, ПК-2</p>										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, практические занятия, самостоятельная работа студента, индивидуальные задания, консультация, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль: посещаемость, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателем с помощью проверки индивидуальных заданий.

Промежуточный контроль: экзамен

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единиц, 72 академических часа:

- лекции – 24 часа;
- практические занятия – 8 часов;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 18 часов;
- промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена, консультация и экзамен) – 22 часа.

Объем контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, групповые консультации, экзамен) составляет 36 часов.

Работа с обучающимися в интерактивных формах составляет 8 часов.

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 часа.

Данный курс является базовой дисциплиной для студентов, интересующихся радиотехнической специализацией. Основное внимание при изложении материала обращено на принципы действия наиболее распространенных приборов, их основные характеристики и параметры. Рассмотрение

строится так, чтобы эти вопросы можно было легко понять без сложного теоретического анализа, требующего увеличения объема курса. Устройства и конструкции приборов рассмотрены в объеме, достаточном для объяснения принципа действия, понимания особенностей применения и эксплуатации этих приборов. Изложение дисциплины строится по типам приборов. Однако для близких по принципу действия приборов предварительно рассматриваются общие для них физические основы.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Всего	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Консультации перед экзаменом (часов)	Промежуточная аттестация (в часах)
					Аудиторные часы		Сам. работа в течение семестра (не включая период сессии)	Сам. работа во время промежуточной аттестации		
					Лекции	Практические занятия				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	<i>Основные физические понятия квантовой электроники</i>	2	1-2	6	4		2			
2	<i>Электронный парамагнитный резонанс</i>	2	3	4	2		2			
3	<i>Квантовые парамагнитные усилители радиодиапазона</i>	2	4-7	10	6	2	2			
4	<i>Молекулярные генераторы</i>	2	8	4	2		2			
5	<i>Оптические квантовые генераторы на основе диэлектриков</i>	2	9	4	2		2			
6	<i>Полупроводниковые лазеры</i>	2	10-12	10	4	2	4			
7	<i>Газовые оптические квантовые генераторы</i>	2	13-14	8	4		4			
8	<i>Использование ОКГ для практических целей</i>		15	2		2				
9	<i>Применение лазеров в системах связи</i>		16	2		2				
10	Групповая консультация	2		2					2	
11	Самостоятельная подготовка обучающегося к экзамену	2		18				18		
12	Экзамен	2		2						2
13	Итого:			72	24	8	18	18	2	2

Программа и основное содержание лекций (24 часа)

1. Основные физические понятия квантовой электроники (4 часа)

Энергетические уровни квантовых систем. Спонтанное и индуцированное излучения. Коэффициенты Эйнштейна. Отрицательная температура. Условия самовозбуждения квантового генератора. Поперечное сечение индуцированного излучения. Форма и ширина спектральной линии. Когерентность света. Характеристики когерентности электромагнитного излучения. Особенности характеристики квантовых приборов. Добротность активной среды. Коэффициент усиления и полоса пропускания квантового усилителя. Режим стационарной амплитуды квантового генератора. Шумы схем с активным веществом.

2. Электронный парамагнитный резонанс (2 часа)

Метод электронного парамагнитного резонанса. Спин-спиновое и спин-решеточное взаимодействие. Магнитная восприимчивость. Экспериментальное наблюдение электронного парамагнитного резонанса. Влияние внутрикристаллического поля.

3. Квантовые парамагнитные усилители радиодиапазона (6 часа)

Создание инверсной населенности в трехуровневых и четырехуровневых системах. Кристаллы для парамагнитных усилителей. Квантовые парамагнитные усилители резонаторного типа. Парамагнитные усилители бегущей волны. Конструирование квантовых парамагнитных усилителей. Применение парамагнитных усилителей.

4. Молекулярные генераторы (2 часа)

Пучковые квантовые генераторы радиодиапазона. Устройство молекулярного генератора на пучке молекул аммиака. Квантовый генератор на пучке атомов водорода. Квантовые стандарты частоты.

5. Оптические квантовые генераторы на основе диэлектриков (2 часа)

Активные среды для лазеров на ионных кристаллах и стеклах. Источники и системы накачки лазеров на ионных кристаллах и стеклах. Устройство оптического квантового генератора на рубине и его работа в режиме свободной генерации.

6. Полупроводниковые лазеры (4 часа)

Элементарные сведения о полупроводниках. Неравновесные состояния в полупроводнике. Излучательная рекомбинация при межзонных переходах. Инжекция носителей тока через $p-n$ -переход. Инжекционный лазер на основе арсенида галлия.

7. Газовые оптические квантовые генераторы (4 часа)

Общая характеристика газовых лазеров. Особенности конструкции газовых лазеров. Газовый разряд. Процессы, приводящие к инверсии населенностей в плазме газового разряда. Газовый лазер на смеси He – Ne. Лазеры в системах связи. Методы модуляции лазерного излучения. Прием оптического излучения. Методы демодуляции.

Программа практических занятий (8 часов)

1. Применение квантовых парамагнитных усилителей (2 часа)

2. Особенности применения полупроводниковых лазеров в технике и быту (2 часа)

3. Использование ОКГ для практических целей (2 часа)

4. Применение лазеров в системах связи (2 часа)

Самостоятельная работа студентов (36 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка индивидуальной темы и изучение ее актуальности	6
Изучение литературы по конкретной индивидуальной теме	6
Оформление результата в виде презентации по выбранной индивидуальной теме	6
Подготовка к экзамену	18

Примеры тем индивидуальных заданий для самостоятельной работы:

1. Устройство и принцип работы молекулярного генератора на пучке молекул аммиака (ПК-1).
2. Расчет добротность открытого резонатора. Внутренние типы колебаний открытого резонатора с рабочим веществом. (ПК-2).
3. Применение квантовых генераторов в качестве стандартов частоты (ПК-1, ПК-2).

План выполнения самостоятельных индивидуальных заданий:

1. Выбор темы и ее изучение. Точная в смысловом отношении формулировка темы уточняет проблему, очерчивает рамки исследования, конкретизирует основной замысел (ПК-2, ПК-2).
2. Выявление литературы по теме и ее изучение в контексте решаемой проблемы (ПК-2).
3. Составление развернутого плана, который содержит общую характеристику предмета исследования, а также основные задачи, стоящие перед студентом. Он должен отражать очередность и логическую последовательность намеченных работ, а также наиболее существенные моменты каждого этапа исследования (ПК-1, ПК-2).
4. Оформление индивидуального задания в виде презентации.

5. Перечень учебной литературы.

5.1 Основная литература:

1. *Чернов К.Н.* Квантовые приборы СВЧ: Курс лекций. 2012. URL: <http://www.inp.nsk.su/students/radio/2012/Quant/Quantum.pdf> (свободный доступ, выложено автором)

5.2 Дополнительная литература:

1. *Бертен Ф.* Основы квантовой электроники. М.: 1971.
2. *Качмарек Ф.* Введение в физику лазеров. М.: Мир, 1981.
3. *Пантел Р., Путхоф Г.* Основы квантовой электроники. М.: Мир, 1972.
4. *Страховский Г.М., Успенский А.В.* Основы квантовой электроники. М.: Высш. шк., 1973.
5. *Ярив А.* Квантовая электроника и нелинейная оптика. М.: Сов. радио, 1973.

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:

1. *Чернов К.Н.* Квантовые приборы СВЧ: Курс лекций. 2012. URL: <http://www.inp.nsk.su/students/radio/2012/Quant/Quantum.pdf>
2. *Качмарек Ф.* Введение в физику лазеров. М.: Мир, 1981

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используется.

7.2 Информационные справочные системы

Не используются.

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

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

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

Для реализации дисциплины «Квантовые приборы СВЧ» используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими 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 в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Реализация дисциплины в части лекционных занятий или промежуточной аттестации может осуществляться с применением электронного обучения (*на платформе ZOOM*), где обучение проводится на виртуальных аналогах, позволяющим достигать запланированных результатов по дисциплине.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем контроля посещаемости, выборочного опроса и проверки индивидуальных заданий.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленные компетенции ПК-1 и ПК-2 сформированы не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области знаний методов и способов постановки и решения задач создания высокочастотных систем ускорительных комплексов, физических, экспериментальных исследований и промышленных установок.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенций ПК-1 и ПК-2.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Квантовые приборы СВЧ».

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1 ПК 2.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 1.2 ПК 2.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	ПК 1.3 ПК 2.3	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

Перечень вопросов к экзамену по дисциплине «Квантовые приборы СВЧ»:

Основные физические понятия квантовой электроники

1. Энергетические уровни атомов и молекул (ПК-1).
2. Населенности энергетических уровней при термодинамическом равновесии (ПК-1).
3. Переходы микрочастиц между энергетическими уровнями (спонтанные, вынужденные, релаксационные) (ПК-1).
4. Получение состояния с инверсной населенностью уровней. Ширина и контур спектральной линии (ПК-1).

Характеристики квантовых приборов

1. Добротность активной среды (ПК-1).
2. Коэффициент усиления и полоса пропускания квантового усилителя (ПК-1, ПК-2).
3. Режимы стационарной амплитуды квантового генератора (ПК-1, ПК-2).
4. Шумы схем с активным веществом (ПК-1).

Квантовые приборы СВЧ диапазона

1. Электронный парамагнитный резонанс. Кристаллы для парамагнитных усилителей (ПК-1).
2. Создание инверсной населенности в трехуровневых и четырехуровневых системах (ПК-1).
3. Однорезонаторные квантовые парамагнитные усилители (отражательный, проходной резонаторы) (ПК-1, ПК-2).
4. Типы резонаторов для парамагнитных усилителей (ПК-1, ПК-2).
5. Парамагнитные усилители бегущей волны (ПК-1, ПК-2).

6. Многорезонаторные парамагнитные усилители. Применение парамагнитных усилителей (ПК-1, ПК-2).

Квантовые стандарты частоты

1. Устройство и принцип действия молекулярного и атомного генераторов. Рабочее вещество. (ПК-1, ПК-2).
2. Генератор на пучке атомов водорода (ПК-1, ПК-2).
3. Пассивные стандарты частоты (частотный дискриминатор на газовой ячейке, атомно-лучевой стандарт с цезиевым репером частоты). (ПК-1, ПК-2).

Квантовые приборы оптического диапазона

1. Монохроматичность и когерентность излучения (временная, пространственная когерентности и т.д.). (ПК-1).
2. Открытые резонаторы для приборов оптического диапазона (ПК-1).
3. Добротность открытого резонатора. Внутренние типы колебаний открытого резонатора с рабочим веществом (ПК-1).
4. Селекция типов колебаний в открытых резонаторах. Спектр излучения лазера. (ПК-1).
5. Мощность излучения оптического квантового генератора (ПК-1, ПК-2).
6. Газовый лазер. Газоразрядные лазеры (общие замечания). Особенности конструкции газовых лазеров (ПК-1, ПК-2).
7. Гелий-неоновый лазер (ПК-1, ПК-2).
8. Ионные лазеры (ПК-1, ПК-2).
9. Лазер на углекислом газе (молекулярный лазер). Химические лазеры. Газовые лазеры с оптической накачкой (ПК-1, ПК-2).
10. Твердотельные лазеры (рубиновый лазер) (ПК-1, ПК-2).
11. Режимы работы рубинового лазера (пичковый режим). Быстрое включение и выключение обратной связи в лазерах (ПК-1, ПК-2).

Полупроводниковые лазеры

1. Выбор материала для полупроводникового лазера. Уровни и квазиуровни Ферми. Инверсная населенность (отрицательная температура). (ПК-1).
2. Инжекция носителей тока через p-n-переход. Инжекционный лазер на основе арсенида галлия (ПК-1, ПК-2).
3. Полупроводниковые лазеры с электронным возбуждением. Полупроводниковые лазеры с оптической накачкой (ПК-1, ПК-2).

Пример экзаменационного билета:

БИЛЕТ № 1

1. Получение состояния с инверсной населенностью уровней. Ширина и контур спектральной линии (ПК-1).
2. Газовый лазер. Газоразрядные лазеры (общие замечания). Особенности конструкции газовых лазеров (ПК-1, ПК-2).

Форма экзаменационного билета представлена на рисунке.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ) Физический факультет	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № _____	
1.	
2.	
Составитель _____	/Ф.И.О. преподавателя/
	(подпись)
« ____ » _____	20 ____ г.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы
по дисциплине «Квантовые приборы СВЧ»
по направлению подготовки 03.04.02 Физика
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Ученого совета НГУ	Подпись ответственного