

**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 квантовой оптики**



**Рабочая программа дисциплины**

**ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ ОПТИКИ**

направление подготовки: **03.04.02 Физика**  
направленность (профиль): **Все профили подготовки**

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 итоговой 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
1	144	32	32		58	18	2			2
Всего 144 часа / 4 зачетных единицы, из них: - контактная работа 68 часов										
Компетенции ОПК-1										

Руководитель программы  
д.ф.-м.н.

И. Б. Логашенко

Новосибирск, 2022

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы. ....	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы. ....	3
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. ....	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий. ....	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. ....	9
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 итоговой аттестации по дисциплине. ....	10

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

Дисциплина (курс) «**Основы квантовой оптики**» имеет своей непосредственной целью дать обучающемуся знания о базовых понятиях, моделях и методах квантовой оптики.

Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося общепрофессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<p><b>ОПК-1.</b> Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности.</p>	<p><b>ОПК - 1.1.</b> Применяет фундаментальные знания и новейшие достижения физики для решения научно-исследовательских задач в избранной области.</p> <p><b>ОПК - 1.2.</b> Применяет современные экспериментальные и теоретические методы, информационные технологии для решения поставленных научно-исследовательских задач.</p>	<p><b>Знать</b> методы и способы постановки и решения задач физических исследований в области квантовой оптики, быть готовым к усвоению новейших принципов инженерии квантовых состояний;</p> <p>-сходство и различие подходов к описанию основных оптических явлений с точки зрения классической стохастической оптики и квантовой оптики и те ситуации, когда адекватным оказывается только последний подход, простейшую квантовую модель лазерной генерации, модель Джейнса-Каммингса, модель эволюции оптической моды как открытой квантовой системы.</p> <p><b>Уметь</b> применять полученные знания при решении задач и чтении оригинальных статей по квантовой оптике.</p> <p><b>Владеть</b> основами «квантового» стиля мышления, необходимого для успешной работы в области квантовооптических реализаций перспективных технологий обработки информации, коммуникаций и метрологии; понятиями квантованного электромагнитного поля, когерентного состояния, «сжатого» состояния, состояния типа «кошка Шредингера».</p>

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Основы квантовой оптики» реализуется в осеннем семестре для магистрантов 1-го курса, обучающихся по направлению подготовки 03.04.02 Физика. Курс является дисциплиной

плиной по выбору, реализуемой кафедрой оптики, необходимой ступенью для овладения курсом – «Современные проблемы квантовой оптики»; изложение материала опирается на знание студентами основ квантовой механики и статистической физики; обеспечена логическая связь «Основ квантовой оптики» с курсами «Механическое действие лазерного излучения на атом» и «Кинетические проблемы в нелинейной спектроскопии».

Курс, в первую очередь, предназначен для магистрантов, область будущей профессиональной деятельности которых включает:

- научные исследования, метрологию и инженерную деятельность с использованием лазерного излучения и квантово-оптических методов;
- исследования процессов взаимодействия оптического излучения с веществом;
- научные и технологические разработки в области лазерных систем и квантовой оптики;

### 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 итоговой 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
1	144	32	32		58	18	2			2
Всего 144 часа / 4 зачётных единицы, из них: - контактная работа 68 часов										
Компетенции ОПК-1										

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, консультации, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателем с помощью заданий, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: выборочный опрос при решении задач на практических занятиях;
- итоговая аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 4 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 32 часа;
  - практические занятия – 32 часов;
  - самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 58 часов;
  - итоговая аттестация (подготовка к сдаче экзамена, консультации и экзамен) – 22 часа;
- Объем контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, групповые консультации, экзамен) составляет 68 часов.

**4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.**

Дисциплина «Основы квантовой оптики» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 1-м курсе физического факультета НГУ в 1 семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачётные единицы, 144 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	
				Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Элементы классической стохастической оптики	1	6	2	2	2	
2	Классическая когерентность	2-3	14	4	4	6	
3	Квантованное поле	4-5	14	4	4	6	
4	Квантовополевая когерентность 1-ого порядка	6	10	2	2	6	
5.	Когерентность 2-ого порядка для двух пространственно-временных точек	7	8	2	2	4	
6.	Когерентные состояния квантованного поля	8	8	2	2	4	
7.	Квантовое кинетическое уравнение	9-10	14	4	4	6	
8.	Квантовая модель одномодового лазера	11-12	14	4	4	6	
9.	Модель Джейнса-Каммингса	13-14	14	4	4	6	
10.	Статистика резонансной флуоресценции двухуровневого атома в секулярном приближении	15	10	2	2	6	
11.	Сжатые состояния одномодового поля	16	10	2	2	6	
12.	Самостоятельная работа в период подготовки к итоговой аттестации		18				18
13.	Консультация в период промежуточной аттестации		2				2
14.	Экзамен		2				2
<b>Всего</b>			<b>144</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>58</b>	<b>22</b>

**Программа и основное содержание лекций (32 часа)**

**Раздел 1. Элементы классической стохастической оптики (2 часа)**

Природа и характер флуктуаций электромагнитного поля в оптике. Понятие о статистическом ансамбле источников и статистическом усреднении. Наличие двух характерных масштабов

времени - оптического периода и времени флуктуаций. Соотношение между ними. Усреднение, проводимое прибором. Аналитический сигнал. Его польза в оптике при учёте усреднения прибором. Классическая феноменологическая теория фотоотсчётов. Процесс Пуассона. Решение уравнения для распределения вероятности числа фототсчётов методом производящей функции. Распределение Пуассона и его усреднение по величине, попавшей на детектор энергии. Классическая формула Мандела. Классическое соотношение между квадратом дисперсии и средним числом фотоотсчётов. Корреляционная функция классического сигнала. Спектральная плотность мощности. Теорема Винера-Хинчина. Условия на корреляционную функцию и условия на спектральную плотность мощности.

## **Раздел 2. Классическая когерентность (4 часа)**

Опыт Юнга. Функция взаимной когерентности (первого порядка). Возникновение когерентности при Распространении излучения. Теорема ванн Ситтерта-Цернике – метод измерения размеров космических источников излучения. Звёздный интерферометр Майкельсона. Оценка поперечной длины когерентности от двух далёких независимых источников. Недостатки метода звёздной интерферометрии. "Интерференция интенсивностей". Схема Брауна-Твисса в простейшем примере двух далёких источников. Анализ интерференции в этой схеме (интерференция сценариев эволюции, а не фотонов на примере амплитуд двухфотонных процессов). Аналогия синтерференцией в схеме Юнга.

## **Раздел 3. Квантованное поле (4 часа)**

Доказательство неравенства для модуля нормированной функции когерентности 1-ого порядка. Моды когерентности. Операторы рождения и уничтожения фотонов в модах когерентности. Доказательство равенства единице модуля нормированной функции когерентности при возбуждении одной моды когерентности. Доказательство обратного утверждения - факта возбуждения одной моды при равенстве единице модуля нормированной функции когерентности.

## **Раздел 4. Квантовополевая когерентность 1-ого порядка (2 часа)**

Доказательство неравенства для модуля нормированной функции когерентности 1-ого порядка. Моды когерентности. Операторы рождения и уничтожения фотонов в модах когерентности. Доказательство равенства единице модуля нормированной функции когерентности при возбуждении одной моды когерентности. Доказательство обратного утверждения - факта возбуждения одной моды при равенстве единице модуля нормированной функции когерентности.

## **Раздел 5. Когерентность 2-ого порядка для двух пространственно-временных точек (2 часа)**

Физический смысл параметра когерентности в этом случае. Понятие о группировке и антигруппировке фотонов. Случай одной моды. Доказательство неравенства для классического варианта нормированного параметра когерентности. Суперпуассоновские и субпуассоновские состояния одномодового поля. Связь дисперсии числа фотонов и нормированного параметра когерентности. Пример суперпуассоновского состояния - равновесного состояния гармонической моды. Квантовая область антигруппировки. Существование запретных областей для графиков зависимости квадрата дисперсии от среднего числа фотонов. Вывод уравнений для границ запретных областей. Вычисление максимального возможного числа фотонов при заданном значении антигруппировки.

## **Раздел 6. Когерентные состояния квантованного поля (2 часа)**

Рассмотрение свойств состояния, собственного для положительно частотной части оператора напряжённости электромагнитного поля. Вывод определения когерентного состояния как собственного для оператора уничтожения фотонов в моде когерентности. Вывод коэффициентов разложения когерентных состояний по базису Фока. Неортогональность и полнота множества когерентных состояний. Глауберовское Р-представление полевой матрицы плотности. Характе-

ристическая функция квантового состояния моды. Связь P-функции совместного действия двух источников с P-функциям источников.

#### **Раздел 7. Квантовое кинетическое уравнение (4 часа)**

Кинетическое уравнение для поля в пассивном резонаторе. Модель с быстрыми пролётами двухуровневых атомов через область поля. Трёхчленная структура Линдблада. Стационарное состояние полевой моды. Решение кинетического уравнения. переход от операторного уравнения к дифференциальному уравнению в частных производных типа Фоккера-Планка для P-функции. Решение полученного уравнения для заданных начальных условий. Вычисление корреляционных функций амплитуд и интенсивностей с помощью вычисленной условной вероятности. Непрерывное детектирование квантованного поля. Связь распределения числа фотонов и статистики фотоотсчётов.

#### **Раздел 8. Квантовая модель одномодового лазера (4 часа)**

Рассмотрение "скоростной" модели лазера. Феномен порога генерации. Модификация сносового члена в уравнения типа Фоккера-Планка для P-функции. Исследование стационарного состояния значительно выше и значительно ниже порога генерации. Флуктуации поля выше и ниже порога генерации. Приближённое решение для корреляционных функций амплитуды и интенсивности. Интерполяция констант релаксации корреляционных функций на основе двух асимптотик. Феномен сужения линии генерации и феномен замедления флуктуаций интенсивности вблизи порога генерации.

#### **Раздел 9. Модель Джейнса-Каммингса (4 часа)**

Гамильтониан двухуровневого атома и квантованной моды поля, взаимодействующих в дипольном резонансном приближении. "Одетые" состояния и их энергии. Исследование эволюции при изначальном когерентном состоянии моды. Коллапс и восстановление рабиевских осцилляций. Объяснения феномена и оценка соответствующих времён. Упрощение модели при большом числе фотонов с узким их распределением. Спонтанные переходы между одетыми состояниями. Триплет Раутиана-Моллоу.

#### **Раздел 10. Статистика резонансной флуоресценции двухуровневого атома в секулярном приближении (2 часа)**

Включение показаний счётчиков в статистический оператор атома. Расширенное кинетическое уравнение. Его общее решение. статистика для центрального и боковых компонент триплета. Асимптотики квадрата дисперсии при большом времени.

#### **Раздел 11. Сжатые состояния одномодового поля (2 часа)**

Модель параметрического процесса преобразования частоты в нелинейной среде. Сжатый вакуум. Квадратуры гармонической моды. Доказательство неклассического характера новых состояний - существования областей в  $\alpha$ -плоскости с отрицательными значениями P-функции. Обоснование термина "сжатие". Периодическое изменение флуктуаций поля в сжатом состоянии. Схема регистрации сжатых состояний при балансном гомодинном детектировании

### **Программа практических занятий (32 часа)**

1. Решение задачи о вычислении стационарной корреляционной функции гармонического сигнала при диффузионной эволюции его фазы (2 часа)
2. Демонстрация метода производящей функции в решении «задачи Томаса Юнга» о вероятности случайного выбора эффективной перестановки конечного множества объектов (2 часа)

3. Решение задачи об осцилляторе Вигнера (неканоническое квантование оптической моды) (4 часа)
4. Нормальный порядок расположения операторов рождения и уничтожения фотонов как проблема комбинаторики. Введение понятий доски Ферре и ладейного числа. Вычисление нормальной формы разложения экспоненты с оператором числа фотонов в показателе. (2 часа)
5. Нахождение на основе результата предыдущей задачи «квантового» способа вычисления ладейного числа для доски-лестницы произвольного размера (2 часа)
6. Вычисление геометрической фазы для когерентного состояния (2 часа)
7. Определение вида когерентного состояния для осциллятора Вигнера при полном отсутствии нулевых колебаний вакуума (4 часа)
8. Определение формы эволюции состояния «кошки Шредингера» при спонтанной потере фотонов (4 часа)
9. Определение вида преобразования состояния фотонной моды при внезапном изменении её частоты (2 часа)
10. Изучение свойств интерферометра Маха-Цандера при использовании квантованного излучения (2 часа)
11. Диагонализация гамильтониана фотонной моды при наличии процесса рождения и гибели пар квантов (2 часа)
12. Расчёт выигрыша в чувствительности фазовых измерений при использовании «сжатого» излучения на входе в интерферометр (понятие о квантовой метрологии) (4 часа)

#### **Самостоятельная работа студентов (76 часов)**

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям.	36
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	22
Подготовка к экзамену	18

### **5. Перечень учебной литературы.**

#### **5.1. Основная литература**

#### **5.2. Дополнительная литература**

#### **5.3.**

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

1. Ильичёв Л.В. Основы квантовой оптики: Курс лекций (электронный текст). Новосибирск: НГУ-ИАиЭ СО РАН, 2019, 115 с.
2. Гардинер К.В. Стохастические методы в естественных науках. М.: Мир, 1986.
3. Аллен Л., Эберли Дж. Оптический резонанс и двухуровневые атомы. М.: Мир, 1978.
4. Шляйх В.П. Квантовая оптика в фазовом пространстве. М.: Физматлит, 2005.
5. Менский М.Б. Квантовые измерения и декогеренция. М.: Физматлит, 2001
6. Квантовые флуктуации излучения лазера / Ф. Ареки [и др.] ; пер. с англ. Г. И. Сурдутовича; под ред. А. П. Казанцева Москва : Мир, 1974 236 с.
7. Квантовая оптика и квантовая радиофизика: лекции в Летней школе теоретической физики Гренобльского университета, Лезуш, Франция : пер. с англ. и фр. / под ред. О. В. Богданкевича и О. Н. Крохина Москва : Мир, 1966 452 с.



8. Клаудер Д.Р. Основы квантовой оптики / Д. Р. Клаудер, Э. К. Г. Сударшан ; пер. с англ. Б. Я. Зельдовича [и др.] ; Москва : Мир, 1970 428 с.

**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 используются.

**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 «Основы квантовой оптики» используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, итоговой 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.

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 итоговой аттестации по дисциплине.

### 10.1 Порядок проведения текущего контроля и итоговой аттестации по дисциплине

#### *Текущий контроль*

Текущий контроль успеваемости студента проводится путем выборочного опроса при решении задач на практических занятиях.

#### *Промежуточная аттестация*

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ОПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности свободно владеть знаниями в области квантовой оптики и использовать их в профессиональной деятельности.

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 компетенции ОПК-1.

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.

### Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
<b>ОПК - 1.1.</b> Применяет фундаментальные знания и новейшие достижения физики для решения научно-исследовательских задач в избранной области.	<b>Знать</b> методы и способы постановки и решения задач физических исследований в области квантовой оптики, быть готовым к усвоению новейших принципов инженерии квантовых состояний; -сходство и различие подходов к описанию основных оптических явлений с точки зрения классической стохастической оптики и квантовой оптики и те ситуации, когда адекватным оказывается только последний подход, простейшую квантовую модель лазерной генерации, модель Джейнса-Каммингса, модель эволюции оптической моды как открытой квантовой системы.	Решение задач, экзамен.

<p><b>ОПК - 1.2.</b> Применяет современные экспериментальные и теоретические методы, информационные технологии для решения поставленных научно-исследовательских задач.</p>	<p><b>Уметь</b> применять полученные знания при решении задач и чтении оригинальных статей по квантовой оптике.</p> <p><b>Владеть</b> основами «квантового» стиля мышления, необходимого для успешной работы в области квантовооптических реализаций перспективных технологий обработки информации, коммуникаций и метрологии;</p> <p>понятиями квантованного электромагнитного поля, когерентного состояния, «сжатого» состояния, состояния типа «кошка Шредингера».</p>	<p>Решение задач, экзамен.</p>
---	---	--------------------------------

## 10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Основы квантовой оптики».

Таблица 10.2

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	ОПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. 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	ОПК 1.2	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)	ОПК 1.2	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.

### 10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

#### Пример задания для самостоятельного решения

Рассчитать с помощью полученной нормально-упорядоченной формы экспоненты от оператора числа фотонов ладейное число для доски Ферре в виде лестницы.

#### Вопросы, выносимые на экзамен

1. Эксперимент Брауна-Твисса (интерференция интенсивностей).
2. Вывод Р-представления для матрицы плотности полевой моды.
3. Глауберовская теория фототсчётов на примере двухатомного детектора.
4. уравнение эволюции открытой квантовой системы (пример с модой поля и пролётом атомов).
5. Эволюционное уравнение для полевой моды в одномодовом лазере.
6. Одетые состояния 2-уровневого атома.
7. Модель Джейнса-Каммингса.
8. Корреляционные функции амплитуды и интенсивности в одномодовом лазере выше и ниже порога.
9. Переход от операторного кинетического уравнения для полевой моды к уравнению типа Фоккера-Планка
10. Детектирование сжатых состояний.
11. Определение и основные свойства когерентных состояний.
12. Классическая теория фотоотсчётов и процесс Пуассона.
13. Аналитический сигнал в классической оптике.
14. Связь параметра группировки фотоотсчётов с дисперсией числа квантов. Примеры группировки и антигруппировки.
15. Определение и основные свойства сжатого состояния.
16. Теорема Винера-Хинчина.
17. Когерентность 1-го порядка, опыт Юнга.
18. Генерация сжатых состояний.
19. Суб- и суперпуассоновская статистика фототсчётов для одномодового поля.
20. Одномодовая лазерная генерация (уравнение и его основные свойства).
21. Модель Джейнса-Каммингса и одетые состояния.
22. Аналитический сигнал в квантовой оптике.
23. Появление пространственной когерентности вдали от некогерентного источника – принцип работы звёздного интерферометра Майкельсона.
24. Явление коллапса и восстановления рабиевских нутаций.

#### Пример экзаменационного билета

1. Аналитический сигнал в классической оптике.
2. Связь параметра группировки фотоотсчётов с дисперсией числа квантов. Примеры группировки и антигруппировки.
3. Практическое задание: нормировать суперпозицию вакуума и некоторого когерентного состояния.

Форма экзаменационного билета представлена на рисунке

<b>МИНОБРНАУКИ РОССИИ</b> <b>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования</b> <b>«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»</b> <b>(Новосибирский государственный университет, НГУ)</b> <b>Физический факультет</b>
<b>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № _____</b>  1 ..... 2 ..... 3 .....  Составитель _____ /Ф.И.О. преподавателя/ <span style="margin-left: 150px;">(подпись)</span>  «__» _____ 20 г.

Оценочные материалы к 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 «Основы квантовой оптики»  
по направлению подготовки 03.04.02 Физика  
Все профили подготовки**

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