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



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ ОПТИКИ

Направление подготовки **03.04.02 Физика**

Направление подготовки **03.04.01 Прикладные математика и 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 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
1	144	32	32		58	18	2			2
Всего 144 часа / 4 зачётных единицы, из них: - контактная работа 68 часов										
Компетенции ОПК-1(03.04.02 Физика, 03.04.01 Прикладные математика и физика)										

Руководитель программы д.ф.-м.н. И. Б. Логашенко

Новосибирск, 2026

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с установленными в программе индикаторами достижения компетенций 3

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы 4

3. Трудоемкость дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося 5

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного 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 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

Приложение 1 Оценочные средства по дисциплине

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с установленными в программе индикаторами достижения компетенций

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ОПК-1. (03.04.02 Физика) Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности.	**ОПК - 1.1.** Применяет фундаментальные и прикладные знания, новейшие достижения в области физико-математических и естественных наук для решения поставленных задач при проведении научных работ, аналитических и (или) проектных исследований в избранной области профессиональной деятельности. **ОПК - 1.2.** Применяет современные экспериментальные и теоретические методы, информационные технологии для решения поставленных задач при проведении научных работ, аналитических и (или) проектных исследований в избранной области профессиональной деятельности.	**Знать** 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

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ОПК-1. (03.04.01 Прикладные математика и физика) Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности.	**ОПК - 1.1.** Применяет фундаментальные и прикладные знания, новейшие достижения в области физико-математических и естественных наук для решения поставленных задач при проведении научных работ, аналитических и (или) проектных исследований в избранной области профессиональной деятельности. **ОПК - 1.2.** Применяет современные экспериментальные и теоретические методы, информационные технологии для решения поставленных задач при проведении научных работ, аналитических и (или) проектных исследований в избранной области профессиональной деятельности.	моды как открытой квантовой системы. **Уметь** применять полученные знания при решении задач и чтении оригинальных статей по квантовой оптике. **Владеть** 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».

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Основы квантовой оптики» реализуется кафедрой квантовой оптики ФФ в осеннем семестре для магистрантов 1-го курса, обучающихся по направлению подготовки **03.04.02 Физика**, **03.04.01 Прикладные математика и физика**. Курс является 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 зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося

Трудоемкость дисциплины – 4 з.е. (144 ч)
Форма промежуточной аттестации: 1 семестр – экзамен

Таблица 3.1

№	Вид деятельности	Семестр
		1
1	Лекции, ч	32
2	Практические занятия, ч	32
3	Лабораторные занятия, ч	
4	Занятия в контактной форме, ч, из них	68
5	из них аудиторных занятий, ч	64
6	в электронной форме, ч	-
7	консультаций, час.	2
8	промежуточная аттестация, ч	2
9	Самостоятельная работа, час.	76
10	Всего, ч	144

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

Лекции (32 ч)

Таблица 4.1

Наименование темы и их содержание	Объем, час
Раздел 1. Элементы классической стохастической оптики	
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 Манделя. 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.	2
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.	4
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.	4
Раздел 4. Квантовополевая когерентность 1-ого порядка	
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.	2
Раздел 5. Когерентность 2-ого порядка для двух пространственно-временных точек	
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.	2
Раздел 6. Когерентные состояния квантованного поля	
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 P-представление полевой матрицы плотности. Характеристическая функция квантового состояния моды. Связь P-функции совместного действия двух источников с P-функциям источников.	2
Раздел 7. Квантовое кинетическое уравнение	
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.	4

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	
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.	4
Раздел 9. Модель Джейнса-Каммингса	
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.	4
Раздел 10. Статистика резонансной флуоресценции двухуровневого атома в секулярном приближении	
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.	2
Раздел 11. Сжатые состояния одномодового поля	
Модель параметрического процесса преобразования частоты в нелинейной среде. Сжатый вакуум. Квадратуры гармонической моды. Доказательство неклассического характера новых состояний - существования областей в α-плоскости с отрицательными значениями P-функции. Обоснование термина "сжатие". Периодическое изменение флуктуаций поля в сжатом состоянии. Схема регистрации сжатых состояний при балансном гомодинном детектировании	2

Практические занятия (32 ч) Таблица 4.2

Содержание практического занятия	Объем, час
Решение задачи о вычислении стационарной корреляционной функции гармонического сигнала при диффузионной эволюции его фазы	2
Демонстрация метода производящей функции в решении «задачи Томаса Юнга» о вероятности случайного выбора эффективной перестановки конечного множества объектов	2
Решение задачи об осцилляторе Вигнера (неканоническое квантование оптической моды)	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
Нахождение на основе результата предыдущей задачи «квантового» способа вычисления ладейного числа для доски-лестницы произвольного размера	2

Вычисление геометрической фазы для когерентного состояния	2
Определение вида когерентного состояния для осциллятора Вигнера при полном отсутствии нулевых колебаний вакуума	4
Определение формы эволюции состояния «кошки Шредингера» при спонтанной потере фотонов	4
Определение вида преобразования состояния фотонной моды при внезапном изменении её частоты	2
Изучение свойств интерферометра Маха-Цандера при использовании квантованного излучения	2
Диагонализация гамильтониана фотонной моды при наличии процесса рождения и гибели пар квантов	2
Расчёт выигрыша в чувствительности фазовых измерений при использовании «сжатого» излучения на входе в интерферометр (понятие о квантовой метрологии)	4

Самостоятельная работа студентов (76 ч) Таблица 4.3

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

1. Клаудер, Джон Р. Основы квантовой оптики / Д. Р. Клаудер, Э. К. Г. Сударшан; пер. с англ. Б. Я. Зельдовича [и др.]; под ред. [и с предисл.] С. А. Ахманова Москва: Мир, 1970428 с. : граф. ; 21 см.Загл. и авт. ориг.: Fundamentals of quantum optics / by J.R. Klauder and E.C.G. SudarshanБиблиогр.: с.13 (21 назв.)Библиогр.: с.362-421Предм. указ.: с.422-424 (9 экз)
2. Ильичёв Л.В. Основы квантовой оптики: Курс лекций https://info.nsu.ru/upload/iblock/bcc/utay4llqagwwj48rjimmmp9y3xrxijcx/Basis%20KO%20(rus%202022).pdf. Новосибирск: НГУ-ИАиЭ СО РАН, 2019, 115 с.

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся

3. Гардинер К.В. Стохастические методы в естественных науках. М.: Мир, 1986.
4. Аллен Л., Эберли Дж. Оптический резонанс и двухуровневые атомы. М.: Мир, 1978.
5. Шляйх В.П. Квантовая оптика в фазовом пространстве. М.: Физматлит, 2005.
6. Менский М.Б. Квантовые измерения и декогеренция. М.: Физматлит, 2001
7. Квантовые флуктуации излучения лазера / Ф. Арекки [и др.] ;пер. с англ. Г. И. Сурдутовича; под ред. А. П. Казанцева Москва : Мир, 1974 236 с.
8. 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.

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

7.1 Ресурсы сети Интернет

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:
- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);

- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет;
- «Российская национальная платформа открытого образования» (http://openedu.ru/), edX (www.edx.org);
- Веб-страницы ведущих международных центров СИ.

Взаимодействие обучающегося с преподавателем (синхронное и (или) асинхронное) осуществляется через личный кабинет студента в ЭИОС, электронную почту.

7.2 Современные профессиональные базы данных:

Не используются.

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

8.1 Перечень программного обеспечения

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий приложения для работы с документами и презентациями.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

8.2 Информационные справочные системы

Не используются.

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

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), 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.

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

Перечень результатов обучения по дисциплине и индикаторов их достижения представлен в разделе 1.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль успеваемости:

Текущий контроль успеваемости осуществляется контролем посещения занятий обучающимся и выполнения запланированных работ, в том числе выборочный опрос при решении задач.

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.

Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине

Таблица 10.1

Код компетенции	Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочное средство
ОПК- 1	**ОПК - 1.1.** Применяет фундаментальные и прикладные знания, новейшие достижения в области физико-математических и естественных наук для решения поставленных задач при проведении научных работ, аналитических и (или) проектных исследований в избранной области профессиональной деятельности.	**Знать** 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	Решение задач, экзамен.

		эволюции оптической моды как открытой квантовой системы.	
	ОПК - 1.2. Применяет современные экспериментальные и теоретические методы, информационные технологии для решения поставленных задач при проведении научных работ, аналитических и (или) проектных исследований в избранной области профессиональной деятельности.	**Уметь** применять полученные знания при решении задач и чтении оригинальных статей по квантовой оптике. **Владеть** 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».	Решение задач, экзамен.

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	**Шкала оценивания**
<u>Решение заданий:</u> – задание решено правильно, – работа оформлена аккуратно, четкие рисунки и чертежи, – осмысленность, логичность и аргументированность изложения материала, – точность и корректность применения терминов и понятий. «Сдать задачу» означает объяснение хода её решения и, при необходимости, ответы на дополнительные вопросы преподавателя, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы. В ответах на вопросы преподавателя обучающийся мог допустить непринципиальные неточности. **<u>Экзамен:</u>** – самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, отсутствие затруднений в объяснении процессов и явлений, а также при формулировке собственных суждений, – точность и корректность применения терминов и понятий, – наличие исчерпывающих ответов на дополнительные вопросы. При изложении ответа на вопрос(ы) преподавателя обучающийся мог допустить непринципиальные неточности.	*Отлично*

Решение заданий: – задание решено правильно, – работа оформлена аккуратно, четкие рисунки и чертежи, – осмысленность, логичность и аргументированность изложения материала, наличие затруднений в формулировке собственных суждений, – точность и корректность применения терминов и понятий, при наличии незначительных ошибок. «Сдать задачу» означает объяснение хода её решения и, при необходимости, ответы на дополнительные вопросы преподавателя, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины. Отвечает на дополнительные вопросы. В ответах на вопросы преподавателя обучающийся мог допустить непринципиальные неточности. **Экзамен:** – самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, наличие затруднений в объяснении отдельных процессов и явления, а также при формулировке собственных суждений, – точность и корректность применения терминов и понятий при наличии незначительных ошибок, – наличие полных ответов на дополнительные вопросы с возможным присутствием ошибок.	*Хорошо*
Решение заданий: – задание решено правильно, - работа оформлена неаккуратно – неосознанность и неосновательность выбранных методов анализа, – нет осмысленности в изложении материала, наличие ошибок в логике и аргументации, – корректность применения терминов и понятий, при наличии незначительных ошибок. «Сдать задачу» означает объяснение хода её решения и, при необходимости, ответы на дополнительные вопросы преподавателя, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины. При ответах на вопросы допускает ошибки **Экзамен:** – теоретический и фактический материал в слабой степени подкреплен ссылками на научную литературу и источники, – частичное понимание и неполное изложение причинно-следственных связей, – самостоятельность и осмысленность в изложении материала, наличие ошибок в логике и аргументации, в объяснении процессов и явлений, а также затруднений при формулировке собственных суждений, – корректность применения терминов и понятий, при наличии незначительных ошибок, – наличие неполных и/или содержащих существенные ошибки ответов на дополнительные вопросы.	*Удовлетвори тельно*
Решение заданий: – задание решено неправильно, – компилятивное, неосмысленное, нелогичное и неаргументированное изложение материала, – грубые ошибки в применении терминов и понятий,	*Неудовлетво -рительно*

«Сдать задачу» означает объяснение хода её решения и, при необходимости, ответы на дополнительные вопросы преподавателя, имеющие принципиальное значение для данной дисциплины. На дополнительные вопросы не отвечает. **Экзамен:** – фрагментарное и недостаточное представление теоретического и фактического материала, не подкрепленное ссылками на научную литературу и источники, – непонимание причинно-следственных связей, – отсутствие осмысленности, структурированности, логичности и аргументированности в изложении материала, – грубые ошибки в применении терминов и понятий, – отсутствие ответов на дополнительные вопросы.	

Типовые контрольные задания и иные 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 P-представления для матрицы плотности полевой моды.
3. Глауберовская теория фототсчётов на примере двухатомного детектора.
4. равнение 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. Налитический 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.

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

Оценочные материалы по промежуточной аттестации (приложение 2), предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям стандартов, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.