

**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

академик РАН



УТВЕРЖДАЮ

Декан ФФ

А. Е. Бондарь

2020 г.

**Рабочая программа дисциплины
Квантовая механика фотонов**

направление подготовки: **03.03.02 Физика, курс 3, семестр 5**
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
5	36	16	16		2			2		
Всего 36 часов /1 зачетная единица из них: - контактная работа 34 часа - в интерактивных формах 16 часов Компетенции ПК-1, ПК-2										

Разработчик:
к.ф.-м.н.

П. А. Французов

Зав. Каф. Кв. Опт. ФФ НГУ
д.ф.-м.н., проф.

А. М. Шалагин

Ответственный за образовательную программу
д.ф.-м.н.

С.В. Цыбуля

Новосибирск, 2020

Содержание

Аннотация	Ошибка! Закладка не определена.
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. 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.	9
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	9
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	10
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	10
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	10

Аннотация

к рабочей программе дисциплины «Квантовая механика фотонов»

Направление: 03.03.02 Физика

Направленность (профиль): Общая и фундаментальная физика

Программа курса «Квантовая механика фотонов» составлена в соответствии с требованиями СУОС к уровню бакалавриата по направлению подготовки 03.03.02 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 профессионального образования Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (НГУ) кафедрой квантовой оптики в качестве факультативной дисциплины. Дисциплина изучается студентами третьего курса физического факультета.

Цель курса – дать обучающимся основные понятия квантовой механики на основе рассмотрения базовых экспериментов с одиночными фотонами и спутанными состояниями нескольких фотонов.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

ПК-1 – способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин

ПК-2 – способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать: базовые эксперименты с одиночными фотонами, понятие вектора состояния квантовой системы, понятие спутанного состояния;

Уметь: решать простые задачи на динамику одиночных фотонов;

Владеть: аппаратом квантовой механики для описания экспериментов с одиночными фотонами.

Курс рассчитан на один семестр (5-й). Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, самостоятельная работа, зачет.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль: выборочный опрос, задания для самостоятельного решения;

Итоговая аттестация: зачет.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 36 академических часов / 1 зачетную единицу.

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

Дисциплина «Квантовая механика фотонов» представляет собой начальный курс о свойствах одиночных фотонов, предназначенный для обучения студентов-физиков, специализирующихся в области оптики.

Дисциплина (курс) «Квантовая механика фотонов» имеет своей целью дать обучающимся базовые знания о динамике одиночных фотонов и привить навыки и умения теоретических расчётов результатов экспериментов с одиночными фотонами (уровень бакалавриата, профиль подготовки «общая и фундаментальная физика»).

Профессиональная компетенция ПК-1 (способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин) в части формирования способности использовать специализированные знания по оптике, электродинамике, статистической физики для освоения свойств одиночных фотонов.

Профессиональная компетенция ПК-2 (способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе, сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта) в части использования полученных знаний в области анализа экспериментов с одиночными фотонами в профессиональной деятельности.

Всюду, где это допускается уровнем знаний и подготовки студентов, материал лекционного курса увязывается с современными исследованиями в области оптики и фотоники. Все практические занятия проводятся в интерактивной форме. Специально указываются темы, связанные с популярными новейшими методами оптических измерений, используемых в текущей профессиональной научной литературе. Материал курса увязывается с общефизическими и математическими дисциплинами, изучаемыми студентами-физиками (электродинамика, квантовая механика и т.д.) и спецкурсами, параллельно изучающимися по данной специальности (введение в квантовую оптику).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **Знать:** базовые эксперименты с одиночными фотонами, понятие вектора состояния квантовой системы, понятие спутанного состояния (ПК-1.1);
- **Уметь:** решать простые задачи на динамику одиночных фотонов (ПК - 2.2);
- **Владеть:** аппаратом квантовой механики для описания экспериментов с одиночными фотонами (ПК-1.3).

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Квантовая механика фотонов» реализуется в осеннем семестре 3-го курса бакалавриата, обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Физика. курс «Квантовая механика фотонов» является факультативной дисциплиной в образовательной бакалаврской программе по оптике; изложение материала опирается на знание студентами общей физики, основ электромагнитной теории света, основ атомной и молекулярной физики; обеспечена логическая связь «Квантовой механики фотонов» с курсами «Электродинамика и оптика», «Квантовая механика».

Курс предназначен для бакалавров, область будущей профессиональной деятельности которых включает:

- научные исследования с использованием методов квантовой оптики;
- научная, техническая, технологическая и инженерная деятельность в области квантовой оптики, квантовой криптографии, квантовой информатики.

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
5	36	16	16		2			2		
Всего 36 часов /1 зачетная единица из них: - контактная работа 34 часа -в интерактивных формах 16 часов Компетенции ПК-1, ПК-2										

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, зачет.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль: выборочный опрос, задания для самостоятельного решения;

Итоговая аттестация: зачет.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 1 зачетную единицу (36 часов):

- занятия лекционного типа – 16 часов;
- практические занятия – 16 часов;
- самостоятельная работа – 2 часа;
- итоговая аттестация (сдача зачёта) – 2 часа.

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, зачёт) составляет 34 часа.

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

Дисциплина «Квантовая механика фотонов» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 3-м курсе физического факультета НГУ в 5 семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 1 зачётную единицу, 36 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоёмкость (в часах)					Консультации перед экзаменом (часов)	Итоговая аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	Сам. работа во время промежуточной аттестации		
				Лекции	Практические занятия				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Вводная часть	1	2	2					
2	Фотон	2	2	1	1				
3	Поляризация фотона	3	2	1	1				
4	Интерференция одиночного фотона	4	2	1	1				
5	Постулаты квантовой механики	5	2	1	1				
6	Операторы физических величин	6-7	4	2	2				
7	Эволюция квантовой системы	8	2	1	1				
8	Составные квантовые системы	9	2	1	1				
9	Эксперимент Эйнштейна-Подольского-Розена	10	2	1	1				
10	Теорема Белла	11	2	1	1				
11	Квантовая криптография	12-13	4	2	2				

12	Квантовая неразличимость	14	2	1	1				
13	Квантовая информатика	15	2	1	1				
14	Парадоксы квантовой механики	16	2		2				
15	Самостоятельная подготовка обучающегося к зачёту		2			2			
16	Зачет		2						2
Всего			36	16	16	2			2

Программа и основное содержание лекций (16 часов)

Раздел 1. Вводная часть (2 часа)

История научного спора природе света. Ньютон и Гюйгенс. Опыт Юнга. Электромагнитные волны в теории Максвелла. Ультрафиолетовая катастрофа. Гипотеза Планка. Квант света.

Раздел 2. Фотон (1 час)

Источник одиночных фотонов. Детектор одиночных фотонов. Эксперимент по прохождению одиночного фотона через полупрозрачное зеркало.

Раздел 3. Поляризация фотона (1 час)

Поляризация света. Комплексный вектор поляризации. Эксперимент по прохождению одиночного фотона через призму Глана-Тейлора. Вектор состояния.

Раздел 4. Интерференция одиночного фотона (1 час)

Интерферометр Маха-Цандера. Эксперимент с одиночным фотоном в интерферометре Маха-Цандера. Эксперимент с отложенным выбором.

Раздел 5. Постулаты квантовой механики (1 час)

Схема эксперимента над квантовой системой. Измерительный прибор. Пространство Гилберта. Вектор состояния. Суперпозиция.

Раздел 6. Операторы физических величин (2 часа)

Определение оператора физической величины. Свойства операторов. Собственные вектора и собственные значения. Спектр оператора физической величины. Критерий одновременной измеримости физических величин. Коммутатор. Соотношение неопределенности.

Раздел 7. Эволюция квантовой системы (1 час)

Оператора эволюции. Свойства оператора эволюции. Оператор Гамильтона. Уравнение Шредингера.

Раздел 8. Составные квантовые системы (1 час)

Квантово-механическое описание составных систем. Спутанные состояния.

Раздел 9. Эксперимент Эйнштейна-Подольского-Розена (1 час)

Приготовление пары фотонов в ЭПР состоянии. Мысленный эксперимент Эйнштейна-Подольского-Розена. Экспериментальная реализация ЭПР.

Раздел 10. Теорема Белла (1 час)

Доказательство теоремы Белла. Эксперимент по проверке теоремы Белла. Квантовая нелокальность.

Раздел 11. Квантовая криптография (2 часа)

Проект сверхсветовой связи Херберта. Теорема о запрете клонирования. Протоколы квантовой криптографии BB84 и EPR. Квантовая телепортация.

Раздел 12. Квантовая неразличимость (1 час)

Эксперимент Хонга-О-Манделя. Неразличимость квантовых частиц. Фермионы и бозоны.

Раздел 13. Квантовая информатика (1 час)

Понятие кубита. Квантовый параллелизм. Квантовые схемы. Квантовые алгоритмы. Квантовые симуляторы и компьютеры. Квантовое превосходство.

Программа практических занятий (16 часов)

Раздел 2. Фотон (1 час)

Раздел 3. Поляризация фотона (1 час)

Раздел 4. Интерференция одиночного фотона (1 час)

Раздел 5. Постулаты квантовой механики (1 час)

Раздел 6. Операторы физических величин (2 часа)

Раздел 7. Эволюция квантовой системы (1 час)

Раздел 8. Составные квантовые системы (1 час)

Раздел 9. Эксперимент Эйнштейна-Подольского-Розена (1 час)

Раздел 10. Теорема Белла (1 час)

Раздел 11. Квантовая криптография (2 часа)

Раздел 12. Квантовая неразличимость (1 час)

Раздел 13. Квантовая информатика (1 час)

Раздел 14. Парадоксы квантовой механики (2 часа)

5. Перечень учебной литературы.

5.1. Основная литература

1. Гринштейн Д., Зайонц А.Г., Квантовый вызов. Современные исследования оснований квантовой механики, М. Интеллект, 2008.
2. Никитин Н.В., Томс К.С., Фотина О.В. Аксиомы квантовой механики. М. Университетская книга, 2015.
3. Иванов М.Г. Как понимать квантовую механику. М. Регулярная и хаотическая динамика, 2015.
4. Нильсен М., Чанг И. Квантовые вычисления и квантовая информация. М.: Мир, 2006 г.

5.2. Дополнительная литература

1. J. N. Tinsley, M.I. Molodtsov, R. Prevedel, D. Wartmann, J. Espigulé-Pons, M. Lauwers, and A. Vaziri, Direct detection of a single photon by humans, *Nature Communications* 7 (2016) 12172.
2. P. Granger, G. Roger, and A. Aspect, Experimental Evidence for a Photon Anticorrelation Effect on a Beam Splitter: A New Light, *Europhys. Lett.* 1 (1986) 173-179.
3. T. Hellmuth, H. Walther, A. Zajonc, and W. Schleich, Delayed-choice experiments in quantum interference, *Phys. Rev. A* 35 (1987) 2532.
4. X.Y. Zou, L.J. Wang, and L. Mandel, Induced Coherence and Indistinguishability in Optical Interference, *Phys. Rev. Lett.* 67 (1991) 318.
5. A. Aspect, P. Grangier, and G. Roger, Experimental Tests of Realistic Local Theories via Bell's Theorem, *Phys. Rev. Lett.* 47 (1981) 460.
6. A. Aspect, P. Grangier, and G. Roger, Experimental Realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm Gedankenexperiment: A New Violation of Bell's Inequalities, *Phys. Rev. Lett.* 49 (1982) 91.
7. A. Aspect, J. Dalibard, and G. Roger, Experimental Test of Bell's Inequalities Using Time-Varying Analyzers, *Phys. Rev. Lett.* 49 (1982) 1804.
8. T. Scheidl et al., Violation of local realism with freedom of choice, *PNAS* 107 (2010) 19708.
9. J. Yin et al., Satellite-based entanglement distribution over 1200 kilometers, *Science* 356 (2017) 1140.
10. N. Herbert, FLASH - A Superluminal Communicator Based Upon a New Kind of Quantum Measurement, *Foundations of Physics* 12 (1982) 1171.
11. W.K. Wutters and W.H. Zurek, A single quantum cannot be cloned, *Nature* 299 (1982) 802
12. D. Dieks, Communication by EPR devices, *Phys. Lett.* 92A (1982) 271.
13. C.H. Bennett, G. Brassard, C. Crepeau, R. Jozsa, A. Peres, and W. K. Wootters, Teleporting an Unknown Quantum State via Dual Classical and Einstein-Podolsky-Rosen Channels, *Phys. Rev. Lett.* 70 (1993) 1895.
14. D. Bouwmeester, J.-W. Pan, K. Mattle, M. Eibl, H. Weinfurter & A. Zeilinger, Experimental quantum teleportation, *Nature* 390 (1997) 575.
15. D. Boschi, S. Branca, F. De Martini, L. Hardy, and S. Popescu, Experimental Realization of Teleporting an Unknown Pure Quantum State via Dual Classical and Einstein-Podolsky-Rosen Channels, *Phys. Rev. Lett.* 80 (1998) 1121.
16. C. K. Hong, Z. Y. Ou, and L. Mandel, Measurement of Subpicosecond Time Intervals between Two Photons by Interference, *Phys. Rev. Lett.* 59 (1987) 2044.
17. H.-S. Zhong et al. Quantum computational advantage using photons, *Science* 370 (2020) 1460.

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

1. Дополнительные материалы по курсу «Квантовая механика фотонов», НГУ 2020.

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 «Квантовая механика фотонов» используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, текущего контроля и итоговой аттестации.

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 может осуществляться с применением электронного обучения на платформах Zoom, Google Meet, Discord с использованием онлайн трансляции

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 следующими видами контроля: контрольные вопросы по пройденному на лекциях материалу, задания для самостоятельного решения.

Итоговая 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 свободно владеть знаниями в области квантовой механики фотонов и использовать их в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на зачете. Зачет 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. Оценка “зачтено” ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня.

Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Квантовая механика фотонов».

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	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 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	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.

10.2 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Вопросы, выносимые на зачет

На проверку сформированности компетенции ПК-1:

1. История научного спора природе света. Ньютон и Гюйгенс. Опыт Юнга. Электромагнитные волны в теории Максвелла. Ультрафиолетовая катастрофа. Гипотеза Планка. Квант

- света. Источник одиночных фотонов. Детектор одиночных фотонов. Эксперимент по прохождению одиночного фотона через полупрозрачное зеркало.
2. Постулаты квантовой механики. Определение оператора физической величины. Свойства операторов. Собственные вектора и собственные значения. Спектр оператора физической величины.
 3. Критерий одновременной измеримости физических величин. Коммутатор. Соотношение неопределенности.
 4. Оператор эволюции. Свойства оператора эволюции.
 5. Оператор Гамильтона. Уравнение Шредингера.
 6. Квантово-механическое описание составных систем. Спутанные состояния.
 7. Теорема о запрете клонирования.
 8. Неразличимость квантовых частиц. Фермионы и бозоны.

На проверку сформированности компетенции ПК-2:

1. Поляризация света. Комплексный вектор поляризации. Эксперимент по прохождению одиночного фотона через призму Глана-Тейлора. Вектор состояния.
2. Интерферометр Маха-Цандера. Эксперимент с одиночным фотоном в интерферометре Маха-Цандера. Эксперимент с отложенным выбором.
2. Эксперимент Эйнштейна-Подольского-Розена. Экспериментальная реализация ЭПР.
3. Теорема Белла. Эксперимент по проверке теоремы Белла.
4. Квантовая криптография. Протоколы квантовой криптографии BB84 и EPR.
5. Квантовая телепортация.
6. Квантовые схемы. Квантовые алгоритмы.
7. Квантовые симуляторы и компьютеры. Квантовое превосходство.
8. Парадоксы квантовой механики.

Пример билета к зачету

1. Оператор эволюции. Свойства оператора эволюции. (ПК-1.1).
2. Квантовая криптография. Протоколы квантовой криптографии BB84 и EPR. (ПК-1.2).

Форма билета к зачету представлена на рисунке

<p style="text-align: center;">МИНОБРНАУКИ РОССИИ</p> <p style="text-align: center;">Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования</p> <p style="text-align: center;">«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)</p> <p style="text-align: center;">Физический факультет</p>

БИЛЕТ № _____

1.
2.

Составитель _____ /Ф.И.О. преподавателя/
(подпись)

« ____ » _____ 20 ____ г.

Оценочные материалы по итоговой 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 «Квантовая механика фотонов»
по направлению подготовки 03.03.02 Физика
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

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