



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
Программа дисциплины «Квантовая оптика» для направления 03.06.01 Физика и астрономия, профиль 01.04.05  
«Оптика» подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

**Правительство Российской Федерации**  
**Федеральное государственное автономное образовательное**  
**учреждение высшего профессионального образования**  
**"Национальный исследовательский университет**  
**"Высшая школа экономики"**

**Программа дисциплины «Квантовая оптика»**  
для направления 03.06.01 Физика и астрономия, профиль 01.04.05 «Оптика»  
подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

-

Авторы программы:

Юдсон Владимир Исаакович,

д.ф.м.н. , e-mail: [vyudson@hse.ru](mailto:vyudson@hse.ru)

Москва - 2017

*Настоящая программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения разработчика программы.*



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
Программа дисциплины «Квантовая оптика» для направления 03.06.01 Физика и астрономия, профиль 01.04.05  
«Оптика» подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

### **1. Область применения и нормативные ссылки**

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает минимальные требования к знаниям и умениям аспиранта по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» профиля 01.04.05 «Оптика» и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа предназначена для преподавателей, ведущих данную дисциплину, и аспирантов направления 03.06.01 Физика и астрономия, профиль 01.04.05 «Оптика».

Программа разработана в соответствии с:

Образовательным стандартом НИУ ВШЭ по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия»;

Образовательной программой «Физика и астрономия» подготовки аспиранта.

Учебным планом подготовки аспирантов по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия», профиль 01.04.05 «Оптика», утвержденным в 2017.

В основу Программы положена Программа-минимум кандидатского экзамена по специальности 01.04.05 «Оптика».

### **2. Цели освоения дисциплины:**

- ? получение фундаментальных знаний в области взаимодействия квантового электромагнитного поля с веществом.
- ? углубление представлений об квантовых оптических эффектах.
- ? знакомство с основными применениями методов современной квантовой оптики и фотоники
- ? Кроме того, освоение дисциплины должно способствовать формированию профессиональных компетенций, определяемых профилем программы аспирантуры.

### **3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины**

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

- Знать основные принципы квантовой теории взаимодействия электромагнитного излучения с веществом.
- ? Овладеть современными методами описания квантовых оптических эффектов.



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
Программа дисциплины «Квантовая оптика» для направления 03.06.01 Физика и астрономия, профиль 01.04.05  
«Оптика» подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

- Усвоить основные методы и подходы применяемые для решения задач современной квантовой оптики, в том числе для целей практики.

В результате освоения дисциплины аспирант осваивает следующие компетенции:

Компетенция (указываются в соответствии с ОС НИУ ВШЭ)	Код по ОС НИУ ВШЭ	Дескрипторы – основные признаки освоения (показатели достижения результата)	Формы и методы обучения, способствующие формированию и развитию компетенции
Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	УК-1	Демонстрирует способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	Лекционные занятия. Самостоятельная работа по изучению литературы и источников.
Готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач.	УК-3	Демонстрирует готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач.	Лекционные занятия. Самостоятельная работа по изучению литературы и источников.
Готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и	УК-4	Демонстрирует готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном	Лекционные занятия. Самостоятельная работа по изучению литературы и источников.



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
Программа дисциплины «Квантовая оптика» для направления 03.06.01 Физика и астрономия, профиль 01.04.05  
«Оптика» подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

иностранных языках.		языках.	
Способность выполнять исследования в области квантовой оптики.	ПК-1	Демонстрирует способность выполнять исследования в области квантовой оптики.	Лекционные занятия. Самостоятельная работа по изучению литературы и источников.
Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области квантовой оптики. с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий.	ОПК-1	Демонстрирует способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области квантовой оптики с использованием современных физических методов исследования и информационно-коммуникационных технологий.	Лекционные занятия. Самостоятельная работа по изучению литературы и источников.
Способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности.	ОПК-2	Демонстрирует способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности.	Лекционные занятия. Самостоятельная работа по изучению литературы и источников.

#### 4. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Настоящая дисциплина относится к дисциплинам вариативной части, обязательной для профиля «Оптика».

Изучение данной дисциплины базируется на следующих базовых дисциплинах:

- ? Классическая электродинамика, включая электродинамику сплошных сред.



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
Программа дисциплины «Квантовая оптика» для направления 03.06.01 Физика и астрономия, профиль 01.04.05  
«Оптика» подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

? Оптика, включая физическую оптику.

? Квантовая механика.

### 5. Тематический план учебной дисциплины

№	Название темы	Всего часов	Аудиторные часы		Самостоятельная работа		
			Лекции	Семинары	Практические занятия		
1	Квантовая природа света.	22	6			16	
2	Излучение и поглощение фотонов атомами.	22	6			16	
3	Квантовая когерентность и корреляционные измерения	22	6			16	
4	Процессы параметрической генерации и неклассические состояния света	16	4			12	
5	Квантовые измерения	16	4			12	
6	Эффекты атомной когерентности.	16	4			12	
<b>Итого</b>		114	30			84	

### 6. Формы контроля знаний аспирантов

Тип контроля	Форма контроля	Полугодие	Параметры	
		1		
Текущий	<i>Домашнее</i>		Задачи по материалу лекции, выдаваемые студентам на дом	



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
Программа дисциплины «Квантовая оптика» для направления 03.06.01 Физика и астрономия, профиль 01.04.05  
«Оптика» подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

	<i>задание</i>		в конце лекции. Обсуждение этих задач в начале следующей лекции.
Итоговый по дисциплине	<i>Экзамен</i>		Беседа с преподавателем (всего 1,5-2 часа)

### 6.1 Критерии оценки знаний, навыков

Текущий контроль: за все домашние задания выставляется одна общая оценка по 10-ти балльной шкале, равная доле правильно решенных задач, умноженной на 10.

Экзамен оценивается по 10-ти балльной шкале и состоит из пяти теоретических вопросов. На каждый вопрос даётся десять-пятнадцать минут на подготовку. Студент в очной беседе с преподавателем отвечает на вопросы. Оценка, выставляемая за экзамен, равна количеству правильных ответов, умноженному на два. Время, отводимое на экзамен, — 1½ часа.

### 6.2 Порядок формирования оценок по дисциплине

Оценка за курс является средним арифметическим оценки текущего контроля и оценки за экзамен.

## 7. Содержание дисциплины

### 7.1 Раздел 1. Квантовая природа света.

Квантование электромагнитного поля, свободные фотоны. Фоковские состояния (представление чисел заполнения). Когерентное состояние одномодового поля как собственное состояние оператора уничтожения. Связь со смещенным состоянием гармонического осциллятора. Свойства когерентных состояний (переполненность, неортогональность), разложение фоковских состояний по когерентным и наоборот. Многомодовое поле. Корреляционные функции квантовых полей. Генерация когерентных состояний. Вакуумные флуктуации, энергия поля в полости, эффект Казимира, Лэмбовский сдвиг. Поле при конечных температурах.

Общее число часов по разделу: лекции — 6 ч., самостоятельная работа — 16 ч.

### Литература по разделу:

1. М.Скалли, М. Зубайри «Квантовая оптика», М. Физматлит, 2003; гл. 1.
2. Л. Мандель, Э. Вольф «Оптическая когерентность и квантовая оптика», М. Физматлит, 2000



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
Программа дисциплины «Квантовая оптика» для направления 03.06.01 Физика и астрономия, профиль 01.04.05  
«Оптика» подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

## **7.2 Раздел 2. Излучение и поглощение фотонов атомами**

Взаимодействие атома с квантованным электромагнитным полем. Модель Раби. Модель Джейнса-Каммингса и ее расширения. Одетые состояния. Модель Дикке. Сверхизлучение и субизлучение. Резонансная флуоресценция.

Общее число часов по разделу: лекции — 6 ч., самостоятельная работа — 16 ч.

### **Литература по разделу:**

1. М.Скалли, М. Зубайри «Квантовая оптика», М. Физматлит, 2003; гл. 5,6,10.
2. Л. Мандель, Э. Вольф «Оптическая когерентность и квантовая оптика», М. Физматлит, 2000

## **7.3 Раздел 3. Квантовая когерентность и корреляционные измерения**

Введение понятия когерентности полевых состояний. Степень когерентности. Когерентность первого порядка. Квантовомеханический детектор фотонов. Корреляционные функции амплитуд и интенсивностей полей. Интерферометрия с одним фотоном. Квантовая механика деления пучка. Интерферометрия света в когерентном состоянии. Интерференция в схеме Юнга. Функции когерентности высших порядков. Звездный интерферометр Майкельсона. Интерферометр и физика эффекта Хэнбери-Брауна и Твисса.

Общее число часов по разделу: лекции — 6 ч., самостоятельная работа — 16 ч.

### **Литература по разделу:**

1. М.Скалли, М. Зубайри «Квантовая оптика», М. Физматлит, 2003; гл. 4.
2. Л. Мандель, Э. Вольф «Оптическая когерентность и квантовая оптика», М. Физматлит, 2000

## **7.4 Раздел 4. Процессы параметрической генерации и неклассические состояния света**

Одномодовые сжатые состояния. Многомодовые сжатые состояния. Сжатие в нелинейно-оптических процессах: вырожденное параметрическое усиление, сжатие в оптическом параметрическом генераторе, сжатие при четырехволновом смешении. Детектирование сжатых состояний. Группировка и антигруппировка фотонов, пуассоновский и субпуассоновский свет. Состояния "кот Шредингера".

Общее число часов по разделу: лекции — 4 ч., самостоятельная работа — 12 ч



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
Программа дисциплины «Квантовая оптика» для направления 03.06.01 Физика и астрономия, профиль 01.04.05  
«Оптика» подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

#### **Литература по разделу:**

1. М.Скалли, М. Зубайри «Квантовая оптика», М. Физматлит, 2003; гл. 2,16.
2. Л. Мандель, Э. Вольф «Оптическая когерентность и квантовая оптика»,  
М. Физматлит, 2000

#### **7.5 Раздел 5. Квантовые измерения**

Введение в проблематику. Парадокс Эйнштейна, Подольского, Розена, теорема Белла. Квантовые неразрушающие измерения. Измерения числа фотонов с помощью оптического эффекта Керра. Измерения в оптических параметрических процессах.

Общее число часов по разделу: лекции — 4 ч., самостоятельная работа — 12 ч.

#### **Литература по разделу:**

1. М.Скалли, М. Зубайри «Квантовая оптика», М. Физматлит, 2003; гл. 18.19.
2. Л. Мандель, Э. Вольф «Оптическая когерентность и квантовая оптика»,  
М. Физматлит, 2000

#### **7.6 Раздел 6. Эффекты атомной когерентности**

Когерентное пленение населенностей – темные состояния. Электромагнитно-индуцированная прозрачность. Движение атомов в резонансном световом поле.

Общее число часов по разделу: лекции — 4 ч., самостоятельная работа — 12 ч.

#### **Литература по разделу:**

1. М.Скалли, М. Зубайри «Квантовая оптика», М. Физматлит, 2003; гл. 7.
2. Л. Мандель, Э. Вольф «Оптическая когерентность и квантовая оптика»,  
М. Физматлит, 2000

#### **8. Образовательные технологии**

На лекции обсуждаются основные понятия и подходы в рамках разбираемой темы, даются определения, рассматриваются поучительные примеры. На дом даются задачи для



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
Программа дисциплины «Квантовая оптика» для направления 03.06.01 Физика и астрономия, профиль 01.04.05  
«Оптика» подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

самостоятельного решения, содержащие как упражнения для усвоения пройденного материала, так и нестандартные задачи, позволяющие проверить уровень общего понимания предмета и требующие изучения дополнительного материала.

## **9. Оценочные средства для текущего контроля и аттестации студента**

### **9.1 Тематика заданий текущего контроля**

Примеры задач домашнего задания:

- 1) Вычислите коммутатор оператора уничтожения фотона “ $a$ ” с оператором  $\exp(t a^{\dagger} a)$ .
- 2) Найти состояние (волновую функцию) поля после прохождения полупрозрачного зеркала, расщепляющего пучок на два. Падающее на зеркало поле находится в Фоковском состоянии с двумя фотонами.

### **9.2 Вопросы для оценки качества освоения дисциплины**

Примеры вопросов к экзамену:

- 1) Когерентное плетение населенностей – темные состояния
- 2) Интерферометр и физика эффекта Хэнбери-Брауна и Твисса
- 3) Модель Джейнса-Каммингса

## **10. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

**Основная литература:**

1. М.Скалли, М. Зубайри «Квантовая оптика», М. Физматлит, 2003.
2. Л. Мандель, Э. Вольф «Оптическая когерентность и квантовая оптика», М. Физматлит, 2000

**Программные средства**

При решении некоторых задач нужно умение пользоваться программой «Математика».

## **11. Материально-техническое обеспечение дисциплины**



Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
Программа дисциплины «Квантовая оптика» для направления 03.06.01 Физика и астрономия, профиль 01.04.05  
«Оптика» подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

Для проведения лекций не используется специальное оборудование, кроме ноутбука и компьютерного проектора.