

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе БГУ

_____ А.Л. Толстик

_____ 06.02.2013 _____

Регистрационный № УД-8778/баз.

КВАНТОВАЯ ОПТИКА

**Учебная программа для специальности
1-31 81 02 - Фотоника**

СОСТАВИТЕЛЬ:

С.Я. Килин — доктор физико-математических наук, профессор.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

И.А. Гончаренко - профессор кафедры естественных наук Государственного учреждения образования «Командно-инженерный институт» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, доктор физико-математических наук, профессор.

А.Л. Толстик — проректор по учебной работе Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой физической оптики физического факультета Белорусского государственного университета
(протокол № 9 от 16 марта 2012);

Кафедрой лазерной физики и спектроскопии физического факультета Белорусского государственного университета
(протокол № 12 от 20 апреля 2012);

Учебно-методической комиссией физического факультета Белорусского государственного университета
(протокол № 9 от 15 мая 2012);

Научно-методическим советом
Белорусского государственного университета
(протокол № 5 от 28 мая 2012).

Ответственный за редакцию: С.Я. Килин

Ответственный за выпуск: С.Я. Килин

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Квантовая оптика, представляющая собой синтез квантовой теории поля и физической оптики, испытывает в настоящее время революционные изменения. От ранних исследований в области когерентных свойств излучения в 1960-х гг., таких как квантовая статистическая теория лазера, квантовая оптика эволюционировала к современным вопросам, связанным, например, с исследованиями роли сжатых состояний поля излучения и атомной когерентности в подавлении квантового шума в интерферометрии и оптических усилителях. С другой стороны стали реальностью такие, ранее казавшиеся немислимыми, концепции, как лазер без инверсии населенностей и одноатомные (микро) мазер и лазер. Многие из этих идей являются перспективными для создания новых устройств, обладающих чувствительностью, существенно превышающей стандартные квантовые пределы.

Целью данного курса является такое изложение научных результатов, полученных в области квантовой оптики, которое уделяло бы особое внимание фундаментальным принципам и их приложениям, что позволило бы студентам проводить самостоятельные исследования в данной области.

Материал курса основан на базовых знаниях и представлениях, заложенных в курсах Оптика, Квантовая механика, Нелинейная оптика, Оптическая обработка информации. Программа курса составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта и основана на базовых знаниях и представлениях, заложенных в общих курсах физики.

Общее количество часов — 116; аудиторное количество часов — 40, из них: лекции — 40. Форма отчётности — экзамен.

ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

№ п/п	Название темы	Лекции	Практические занятия	Самост. работа	Всего
1	Квантовая теория излучения	4	-	8	12
2	Когерентные и сжатые состояния поля	6	-	10	16
3	Теория квантовых распределений и частично когерентное состояние	6	-	10	16
4	Полевая и фотонная интерферометрия	6	-	10	16
5	Взаимодействие атома с полем - полуклассическая теория	4	-	8	12
6	Взаимодействие атома с полем - квантовая теория	4	-	8	12
7	Лазерная генерация без инверсии и другие эффекты атомной когерентности	4	-	8	12
8	Квантовая теория лазера	2	-	4	6
9	Парадокс Эйнштейна, Подольского, Розена, теорема Белла	2	-	4	6
10	Квантовые неразрушающие измерения	2	-	6	8
	Итого	40	-	76	116

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1. **Квантовая теория излучения.** Квантование свободного электромагнитного поля. Фоковские состояния или представление чисел заполнения. Лэмбовский сдвиг. Квантовые биения. Понятие фотона.

2. **Когерентные и сжатые состояния поля.** Когерентное состояние как собственное состояние оператора уничтожения и как смещенное состояние гармонического осциллятора. Некоторые свойства когерентных состояний. Физика сжатого состояния. Сжатые состояния и соотношение неопределенности. Оператор сжатия и сжатые когерентные состояния. Многомодовое сжатие. Сжатие с помощью нелинейно-оптических процессов: вырожденное параметрическое усиление, сжатие в оптическом параметрическом генераторе, сжатие при четырехволновом смешении.

3. **Теория квантовых распределений и частично когерентное состояние.** Представление когерентных состояний. Q -представление. Распределение Вигнера-Вейля. Обобщенное представление оператора плотности и связь между P -, Q -, W -распределениями. Q -представление сжатого когерентного состояния.

4. **Полевая и фотонная интерферометрия.** Интерферометр как космический датчик. Звездный интерферометр Майкельсона. Интерферометр Хэнбери-Брауна и Твисса. Детектирование фотонов и квантовые функции когерентности. Когерентность первого порядка и эксперименты типа Юнга

с двумя источниками. Когерентность второго порядка. Физика эффекта Хэнбери-Брауна и Твисса. Гомодинное детектирование сжатых состояний. Антигруппировка фотонов, пуассоновский и субпуассоновский свет.

5. **Взаимодействие атома с полем - полуклассическая теория.** Гамильтониан взаимодействия атома с полем. Взаимодействие двухуровневого атома с одномодовым полем. Оператор плотности для двухуровневого атома. Уравнения Максвелла-Шредингера. Полуклассическая теория лазера. Физическая картина вынужденного испускания и поглощения. Спектроскопия с временным разрешением.

6. **Взаимодействие атома с полем - квантовая теория.** Гамильтониан взаимодействия атома с полем. Взаимодействие одиночного двухуровневого атома с одномодовым полем: метод амплитуд вероятности, метод оператора Гейзенберга, метод унитарного оператора эволюции. Теория Вайскопфа-Вигнера спонтанного излучения двухуровневого атома.

7. **Лазерная генерация без инверсии и другие эффекты атомной когерентности.** Эффект Ханле. Когерентное пленение населенностей – темные состояния. Электромагнитно-индуцированная прозрачность. Лазерная генерация без инверсии.

8. **Квантовая теория лазера.** Уравнение движения для матрицы плотности. Статистика лазерных фотонов. Лазер в P -представлении. Естественная ширина. Аналогия между поведением лазера вблизи порога генерации и фазовым переходом второго рода.

9. **Парадокс Эйнштейна, Подольского, Розена, теорема Белла.** Парадокс Эйнштейна, Подольского, Розена. Неравенство Белла. Квантовое вычисление корреляций в теореме Белла. Квантовая криптография.

10. **Квантовые неразрушающие измерения.** Условия для КН измерений. КН измерения числа фотонов с помощью оптического эффекта Керра. КН измерения в оптических параметрических процессах.

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Рекомендуемые формы контроля знаний

Проведение собеседования, тестирование, опрос, реферативные работы.

Рекомендуемая литература

Основная

1. М.Скалли, М. Зубайри «Квантовая оптика», М. Физматлит, 2003
2. Р. Лоудон «Квантовая теория света», Мир, 1976
3. Л. Мандель, Э. Вольф «Оптическая когерентность и квантовая оптика», М. Физматлит, 2000
4. Дж. Клаудер, Э. Сударшан «Основы квантовой оптики»
5. Р. Глаубер «Оптическая когерентность и статистика фотонов», М.:Мир, 1966

6. С.Я. Килин Квантовая оптика: поля и их детектирование, Минск, 1990.

Дополнительная

1. Я. Перина «Квантовая статистика оптических явлений», 1984
2. D. Walls, G. Milburn “Quantum optics”, 1994
3. C. Gardiner, P. Zoller “Quantum noise”, 2000