

## Рабочая программа дисциплины

**1. Название дисциплины:** Квантовая теория рассеяния света холодными атомами

**2. Уровень высшего образования** – магистратура

**3. Направление подготовки:** 03.04.02 Физика (магистратура)

**4. Аннотация:**

Курс «Квантовая теория рассеяния света холодными атомами» является вариативной дисциплиной магистерской программы «Квантовые вычисления». Дисциплина обеспечивает теоретическую подготовку студентов в освоении современных методов описания и расчета взаимодействия света с ансамблями холодных атомов. В курсе рассматривается роль когерентных и кооперативных процессов, сопровождающих рассеяние света оптически плотными атомными средами, в том числе, и при наличии внешних управляющих полей. Это сопровождается рядом интересных и важных для приложений физических эффектов, таких как когерентное обратное рассеяние и локализация света, усиление либо отображение состояния света при многократном рассеянии в стимулированном рамановском процессе, развивающемся в условиях диффузии излучения. Отдельный интерес представляет проблема квантовой памяти, связанная с сохранением микросостояния сигнального импульса в атомной системе в условиях кооперативного взаимодействия. Разработка схем квантового интерфейса свет-вещество является одной из ключевых задач в создании универсального квантового процессора.

**5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):**

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (18 часов занятия лекционного типа, 16 часов занятия семинарского типа, 2 часа коллоквиумов), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

**6. Формируемые компетенции и входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:**

НАЗВАНИЕ КОМПЕТЕНЦИЙ:

СПК-1 Способность свободно владеть профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых вычислений.

СПК-2 Способность к поиску, критическому анализу, обобщению и систематизации научной информации в области физики квантовых вычислений.

СПК-3 Способность организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых вычислений, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования.

#### ПОРОГОВЫЙ (ВХОДНОЙ) УРОВНЬ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ТРЕБУЕМЫЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

Для того чтобы формирование данных компетенций было возможно, обучающийся, приступивший к освоению образовательной программы, должен:

- **ЗНАТЬ:** основные методы научно-исследовательской деятельности.
- **УМЕТЬ:** выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах; критически оценивать любую поступающую информацию, вне зависимости от источника; избегать автоматического применения стандартных формул и приемов при решении задач.
- **ВЛАДЕТЬ:** навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования; навыками выбора методов и средств решения задач исследования.

Для освоения дисциплины необходимы знания и умения, приобретаемые в рамках дисциплин общей физики «Оптика», «Электромагнетизм» и теоретической физики «Электродинамика» и «Квантовая механика», а также дисциплины «Дифференциальные уравнения».

#### **7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий**

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины,  форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе						
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости коллоквиумы, практические контрольные занятия и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
<b>1. Введение</b> Обзор основных современных направлений, проблем и возможных приложений физики холодных атомов. Общая классификация процессов когерентного и некогерентного рассеяния света атомными ансамблями.		1			1	1 час Знакомство с литературой, представленной в обзоре [3].		2

<p><b>2. Распространение света в условиях многократного рассеяния</b></p> <p><i>§1. Взаимодействие света и атомов.</i> Преобразование гамильтониана взаимодействия, представленного в стандартной поперечной кулоновской калибровке, к приближенной дипольной калибровке, применимой в оптической части спектра. Классификация параметров и описание взаимодействия поля и атомов в коллективной задаче. Особенности и отличия в описании плотной и разреженной атомной среды. Корреляционная функция света.</p> <p><i>§2. Формализм функций Грина.</i> Связь корреляционной функции с функциями Грина диаграммной техники Келдыша. Диаграммное представление процесса рассеяния. Тензор рассеяния и основные «блоки» диаграмм. Диаграммное разложение корреляционной функции для разреженной атомной среды.</p> <p><i>§3. Уравнение переноса излучения. Диффузионное приближение.</i> Разложение Бете-Салпитера для корреляционной функции и интерпретация многократного рассеяния игнорирующего эффект интерференции. Контр пример – когерентное обратное рассеяние. Локализация и антилокализация света. Построение уравнения переноса излучения и обсуждение пределов его применимости. Диффузионное приближение.</p>	8	4		12	<p>2 час Вывод основных формул секции 2.1 и приложения А обзора [3].</p> <p>4 часа Освоение методов диаграммной техники Келдыша, глава X в учебнике [2] и раздел 2 обзора [3].</p> <p>2 час Описание элементарного процесса рассеяния света одиночным атомом, глава VI в учебнике [1]. Диаграммные представления восприимчивости среды и тензора рассеяния, раздел 2.4 обзора [3]</p> <p>Проследить возникновение групповой</p>		20
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---	---	--	----	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	----

<p><i>§4. Диффузия излучения в условиях оптического насыщения.</i></p> <p>Задача Моллоу – спектр излучения одиночного атома, возбуждаемого сильным полем, насыщающим оптический переход. Влияние коллективных эффектов на взаимодействие сильного поля с оптически плотной атомной средой.</p>						<p>скорости в уравнении переноса излучения <math>\phi</math>. (2.55) обзора [3].</p>		
<p><b>3. Диффузия света, контролируемая внешними полями</b></p> <p><i>§6. «Случайный лазер».</i></p> <p>Уравнение диффузии в условиях усиления света – концепция «Случайного лазера» в модели В. Летохова. Идея рамановского усиления, обсуждение экспериментальной демонстрации, представленной группой Р. Кайзера. Моделирование процесса уравнением Бете-Салптитера. Свойства и параметры когерентности излучения «случайного лазера»</p> <p><i>§7. Квантовая память в условиях пленения излучения.</i></p> <p>Концепция квантовой памяти. Пленение излучения и другие механизмы усиления эффективности конвертации сигнального импульса в спиновую подсистему.</p>	3	3	2 часа Коллоквиум по теме «Распространение света в условиях многократного рассеяния»	8	<p>4 часа Разбор материалов раздела 4.1 обзора [3] и статьи [6].</p> <p>5 часов Подготовка к коллоквиуму</p>		17	
<p><b>4. Рассеяние света комплексными квантовыми системами</b></p> <p><i>§8. Системы близко расположенных атомных диполей.</i></p> <p>Общая характеристика проблемы – расположение</p>	5	5		10	<p>2 час Вычислить вакуумную</p>		16	

<p>атомов внутри волновых зон соседей с плотностью более одного атома в объеме длины волны. Особенности дипольного приближения. Упрощенное описание в рамках скалярного приближения и др. упрощенные модели.</p> <p><i>§9. Самосогласованный подход.</i> Описание задачи рассеяния в рамках макроскопической теории Максвелла. Приближение Лорентц-Лоренца. Диэлектрическая проницаемость. Вычисление коэффициента прохождения и отражения света от однородной плотной атомной среды.</p> <p><i>§10. Микроскопический подход.</i> Т-матрица и амплитуда рассеяния. Сечение рассеяния. Оператор резольвенты гамильтониана. Уравнение рассеяния в форме обобщенного уравнения Дайсона. Диаграммное разложение для собственно-энергетической части. Иллюстрирующие примеры. Возможность создания квантовой памяти с использованием минимального количества атомов.</p>						<p>функцию Грина для операторов электрического поля, см. §85 учебника [ 1].</p> <p>2 час Проработка лекционного материала. Выделить в собственно энергетической части изолированного атома лэмбовский сдвиг. Показать, что в дипольном приближении этот вклад характеризуется логарифмической расходимостью в высокочастотной области спектра.</p> <p>2 часа Повторение лекционного материала по теме «Рассеяние света комплексными квантовыми системами».</p>		
<p><b>5. Заключение</b></p> <p>Обсуждение перспектив конфигураций нейтральных атомов, образующих одномерные атомные цепочки,</p>		1			1			1

оптические решетки, управляемых оптическим пинцетом и т.п.								
<b>Промежуточная аттестация - зачет</b>		4			4	12 часов Подготовка к промежуточной аттестации (зачету).		16
<b>Итого</b>		18	16	2	36	36		72

\* Текущий контроль успеваемости в рамках занятий семинарского типа реализуется в форме обсуждения.

### 8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине:

- 8.1 Основная и дополнительная литература доступная студентам через Интернет или по запросу лектору.
- 8.2 Электронные презентации основных тем дисциплины доступные через сайт ЦКТ ФФ МГУ

### 9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Типовые контрольные вопросы и темы для обсуждения:

1. Операторы поля и атомов в представлении вторичного квантования
2. Связь представления Шредингера, Гейзенберга с представлением взаимодействия.
3. Функции Грина в диаграммной технике Келдыша
4. Корреляционная функция поля и её связь с потоком энергии и спектром излучения.
5. Диаграммное представление процесса многократного рассеяния.
6. Запаздывающая функция Грина.
7. Уравнение переноса излучения
8. Резонансная структура Ауслера-Таунса.
9. Т-матрица и оператор резольвенты гамильтониана
10. Собственно-энергетическая часть и уравнение Дайсона

Типовые вопросы к зачету:

1. Гамильтониан взаимодействия атома и поля в дипольном приближении.

2. Корреляционная функция электромагнитного поля первого порядка и её свойства.
3. Разложение оператора эволюции в ряд теории возмущений. Теорема Вика и функции Грина в диаграммной технике неравновесных систем.
4. Связь корреляционной функции с функциями Грина диаграммной техники Келдыша. Построение диаграммного разложения.
5. Диаграммные представления для диэлектрической восприимчивости и тензора рассеяния.
6. Лестничное разложение Бете-Салпитера. «Веерная» поправка и эффект когерентного обратного рассеяния.
7. Уравнение переноса излучения и диффузионное приближение.
8. Концепция «случайного лазера» в диффузионной модели с усилением света.
9. Усиление света в условиях многократного рассеяния в рамановском процессе. Спонтанное рассеяние на резонансе Аутлера-Таунса.
10. Рамановская конверсия сигнального импульса в спиновую подсистему в условиях пленения излучения. Эффект квантовой памяти.
11. Микроскопическое описание системы близко расположенных атомных диполей. Связь поля смещения (электрической индукции) с поперечным электрическим полем.
12. Самосогласованный подход. Формула Лорентц-Лоренца и диэлектрическая проницаемость среды.
13. Вычисление коэффициентов прохождения и отражения в одномерной модели в приближении макроскопической электродинамики. Сдвиг атомного резонанса, обусловленный коллективным взаимодействием атомных диполей.
14. Микроскопическое описание задачи рассеяния. Т-матрица, сечение рассеяния, оператор резольвенты гамильтониана.
15. Уравнение Дайсона для функции Грина одночастичного оптического возбуждения (поляритона). Диаграммное представление собственно энергетической части.
16. Вакуумная функция Грина операторов электрического поля. Схема решения уравнение рассеяния.
17. Иллюстрирующие примеры. Сравнение результатов микроскопического и макроскопического расчетов.
18. Схемы квантовой памяти на основе рамановской конверсии в атомных системах.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (ПОКАЗАТЕЛИ ДОСТИЖЕНИЯ ЗАДАННОГО УРОВНЯ ОСВОЕНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ)

**ВЛАДЕТЬ:** профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых вычислений (В1, СПК-1).



**ВЛАДЕТЬ:** навыками поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области физики квантовых вычислений (В2, СПК-2).

**ВЛАДЕТЬ:** навыками анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых вычислений (В3, СПК-3).

**УМЕТЬ:** анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики квантовых вычислений и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов (У1, СПК-1).

**УМЕТЬ:** осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области физики квантовых вычислений (У2, СПК-2).

**УМЕТЬ:** организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых вычислений, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования (У3, СПК-3).

**ЗНАТЬ:** методы анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области физики квантовых вычислений (З1, СПК-1).

**ЗНАТЬ:** способы критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области физики квантовых вычислений (З2, СПК-2).

**ЗНАТЬ:** методы организации и планирования исследований в области физики квантовых вычислений, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования (З3, СПК-3).

Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5

<p><i>ВЛАДЕТЬ:</i> профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых вычислений (В1, СПК-1).</p>	<p>Отсутствие навыков</p>	<p>Фрагментарное применение навыков анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых вычислений</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое применение навыков анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых вычислений</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых вычислений</p>	<p>Успешное и систематическое применение навыков анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых вычислений</p>
<p><i>ВЛАДЕТЬ:</i> навыками поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области физики квантовых вычислений (В2, СПК-2).</p>	<p>Отсутствие навыков</p>	<p>Фрагментарное применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области физики квантовых вычислений</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области физики квантовых вычислений</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области физики квантовых вычислений</p>	<p>Успешное и систематическое применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области физики квантовых вычислений</p>
<p><i>ВЛАДЕТЬ:</i> навыками анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики</p>	<p>Отсутствие навыков</p>	<p>Фрагментарное применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых</p>	<p>Успешное и систематическое применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых</p>

квантовых вычислений (ВЗ, СПК-3).		физики квантовых вычислений	задач в области физики квантовых вычислений	вычислений	вычислений
<i>УМЕТЬ:</i> анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики квантовых вычислений и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов (У1, СПК-1).	Отсутствие умения	Фрагментарное проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики квантовых вычислений и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов	В целом успешное, но не систематическое проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики квантовых вычислений и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики квантовых вычислений и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов	Успешное и систематическое проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики квантовых вычислений и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов
<i>УМЕТЬ:</i> осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области физики квантовых вычислений (У2, СПК-2).	Отсутствие умения	Фрагментарное проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области физики квантовых вычислений	В целом успешное, но не систематическое проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области физики квантовых вычислений	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области физики квантовых вычислений	Успешное и систематическое проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области физики квантовых вычислений

<p><i>УМЕТЬ:</i> организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых вычислений, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования (УЗ, СПК-3)</p>	<p>Отсутствие умения</p>	<p>Фрагментарное проявление умения организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых вычислений, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление умения организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых вычислений, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление умения организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых вычислений, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>	<p>Успешное и систематическое проявление организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых вычислений, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>
<p><i>ЗНАТЬ:</i> методы анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области физики квантовых вычислений (31, СПК-1)</p>	<p>Отсутствие знаний</p>	<p>Фрагментарное проявление знаний методов анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области физики квантовых</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление знаний методов анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области физики</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление знаний методов анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области физики квантовых вычислений</p>	<p>Успешное и систематическое проявление знаний методов анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области физики квантовых вычислений</p>

		вычислений	квантовых вычислений		
<p><i>ЗНАТЬ:</i>  способы критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области физики квантовых вычислений (32, СПК-2).</p>	Отсутствие знаний	Фрагментарное проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области физики квантовых вычислений	В целом успешное, но не систематическое проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области физики квантовых вычислений	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области физики квантовых вычислений	Успешное и систематическое проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области физики квантовых вычислений

<b>ЗНАТЬ:</b> методы организации и планирования исследований в области физики квантовых вычислений, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования (33, СПК-3)	Отсутствие знаний	Фрагментарное проявление знаний методов организации и планирования исследований в области физики квантовых вычислений, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования	В целом успешное, но не систематическое проявление знаний методов организации и планирования исследований в области физики квантовых вычислений, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление знаний методов организации и планирования исследований в области физики квантовых вычислений, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования	Успешное и систематическое проявление знаний методов организации и планирования исследований в области физики квантовых вычислений, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## 10. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

### Основная литература

1. В.Б. Берестецкий, Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский, Курс теоретической физики: Квантовая электродинамика// М.: Наука 1980.
2. Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский, Курс теоретической физики: Физическая кинетика// М.: Наука 1980.
3. D.V. Kupriyanov, I.M. Sokolov, M.D. Havey, “Mesoscopic coherence in light scattering from cold, optically dense and disordered atomic systems”. // *Physics Reports* 671 (2017) 1–60.

### Дополнительная литература

4. Л.В. Келдыш, “Диаграммная техника для неравновесных процессов”.// *ЖЭТФ* 47 (1964) 1515–1527; *Sov. Phys.—JETP* 20 (1965) 1018–1026.
5. D.V. Kupriyanov, I.M. Sokolov, C.I. Sukenik, and M.D. Havey, “Coherent backscattering of light from ultracold and optically dense atomic ensembles”. // *Laser Phys. Lett.* 3, No. 5, 223–243 (2006).
6. L. V. Gerasimov, D. V. Kupriyanov, and M. D. Havey, “Random laser in inhomogeneous and disordered system of cold atoms”.// *Optics & Spectroscopy* т. 119, № 3, с. 403–410 (2015).

7. I.M. Sokolov, M.D. Kupriyanova, and D.V. Kupriyanov, M.D. Havey, “Light scattering from a dense and ultracold atomic gas”// Phys. Rev. A 79, 053405 (2009).

8. Q. Baudouin, N. Mercadier, V. Guarrera, W. Guerin & R. Kaiser, “A cold-atom random laser”// Nature Physics, volume 9, pp. 357–360 (2013).

#### **11. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:**

- [www.theorphys-lab.spbstu.ru](http://www.theorphys-lab.spbstu.ru)

#### **12. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Для освоения дисциплины необходимо посещение интерактивных занятий (лекций и семинаров) и регулярная самостоятельная работа в течение семестра. Для большей части тем курса имеются электронные презентации, выложенные на сайте ЦКТ ФФ МГУ. Рекомендуется перед лекцией скачать соответствующую презентацию и иметь ее на интерактивном занятии на ноутбуке или планшете в режиме off-line или в распечатанном виде, используя как основу конспекта для собственных пометок и комментариев.

#### **13. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости):**

При реализации учебной работы в рамках дисциплины «Квантовая теория рассеяния света холодными атомами» используются средства дистанционного сопровождения учебного процесса в форме сайтов с материалами лекций и семинарских занятий. Курс имеет электронные версии (презентации) лекций. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.

#### **14. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

В соответствии с требованиями п. 5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика». Любая аудитория, оснащенная проекционным оборудованием с возможностью подключения к ноутбуку, экраном, и учебной доской.