

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

«Утверждаю»

Декан факультета ВМК МГУ
имени М.В. Ломоносова

академик



Е.И. Моисеев

« » _____ 2017 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Моделирование квантовых систем»

Уровень высшего образования – подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре

Направление подготовки – 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника»

Направленность (профиль) – «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей»

2017

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

1. НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Моделирование квантовых систем

2. УРОВЕНЬ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре.

3. НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ, НАПРАВЛЕННОСТЬ (ПРОФИЛЬ) ПОДГОТОВКИ

Направление 01.04.02 «Прикладная математика и информатика». Направленность (профиль) «Квантовая информатика». Образовательная программа «Моделирование квантовых систем».

4. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в вариативную часть образовательной программы для аспирантов по специальности 05.13.18, изучается на первом году обучения.

5 АННОТАЦИЯ (+ желательно еще и английский вариант)

Дисциплина «Моделирование квантовых систем» содержит принципы распараллеливания вычислительных задач квантовой электродинамики отдельных зарядов и поля с ограниченными видами взаимодействий, предназначенных для создания квантовых компьютеров и иных приборов обработки квантовой информации. Дисциплина включает в себя: конечномерные модели КЭД, элементы теории открытых квантовых систем в марковском окружении, компьютерные методы моделирования много-кубитных систем зарядов и поля. Акцент делается на изучении состояний атомных ансамблей, устойчивых к декогерентности и допускающих простое управление.

The discipline "Modeling of quantum systems" contains the basic principle of parallelism in computational problems of quantum electrodynamics of several charges and field with the limited types of interaction, which are designed for the creation of quantum computers and other devices processing quantum information. The discipline includes: finite dimensional models of QED, elements of the theory of open quantum systems in Markov type environment, computer methods of simulation of the many qubit systems of charges and field. We highlight the treatment of atomic states

resistant to the decoherence and admitting simple control.

6. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательной программы:

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения
Владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности (ОПК-1)	ЗНАТЬ: классические математические методы, применяющиеся для решения задач в области естественных наук, экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий; УМЕТЬ: применять классические методы построения и анализа математических моделей; ВЛАДЕТЬ: базовыми навыками выбора методов и средств построения и анализа математических моделей.
Владение современными алгоритмами разработки программного обеспечения вычислительных комплексов (ПК-3)	ЗНАТЬ: современные алгоритмы разработки программного обеспечения вычислительных комплексов; УМЕТЬ: применять современные алгоритмы разработки программного обеспечения вычислительных комплексов; ВЛАДЕТЬ: базовыми навыками выбора современных алгоритмов разработки программного обеспечения вычислительных комплексов.

<p>Владение современными методами построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также методами разработки и реализации алгоритмов их решения на основе фундаментальных знаний в области математики и информатики (ПК-1)</p>	<p>ЗНАТЬ: классические методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также базовые методы разработки и реализации алгоритмов их решения;</p> <p>УМЕТЬ: применять классические методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также базовые методы разработки и реализации алгоритмов их решения;</p> <p>ВЛАДЕТЬ: базовыми навыками выбора методов построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также методов разработки и реализации алгоритмов их решения.</p>
--	---

Оценочные средства для промежуточной аттестации приведены в Приложении.

6. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Объем дисциплины составляет 3 зачетные единицы, всего 108 часа.

72 часа составляет контактная работа с преподавателем – 32 часов занятий лекционного типа, 26 часов занятий семинарского типа (семинары, научно-практические занятия, лабораторные работы и т.п.), 12 часов индивидуальных консультаций, 4 часа групповых консультаций, 8 часов мероприятий текущего контроля успеваемости, 4 часа промежуточной аттестации.

72 часа составляет самостоятельная работа учащегося.

7. ВХОДНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Учащиеся должны владеть знаниями по программированию, математическому анализу, линейной алгебре, дифференциальным уравнениям и краевым задачам, численным методам в объеме, соответствующем основным образовательным программам бакалавриата по укрупненным группам направлений и специальностей 01.00.00 «Математика и механика», 02.00.00 «Компьютерные и информационные науки», а также материалом дисциплины «Квантовая механика и квантовые вычисления», читаемой в 1 семестре магистратуры.

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В процессе обучения используются пакеты прикладных программ МАТНЕМАТІСА, язык программирования Python, пакет прикладных программ Lараск, методы распараллеливания OpenMP и MPI.

9. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

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					Самостоятельная работа учащегося, часы			
		из них					из них			
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости: коллоквиумы, практические контрольные занятия и др.	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п..	Всего

<p>Тема 1. Квантовая электродинамика</p>										
<p>Уравнения Максвелла. Калибровки, лоренцевская калибровка. Потенциал поля как четырехмерный вектор, его релятивистская инвариантность. Векторная и скалярная компоненты поля. Кулоновский потенциал. Квантование поля. Понятие о фотоне данной моды. Однофотонные и двух-фотонные состояния. Сжатые и когерентные состояния. Число фотонов и частота. Гармонические осцилляторы поля. Квантование поля через интегралы по путям Фейнмана.</p>	16	12	-	-	-	2	24	2	-	12
<p>Метод возмущений в применении к полю. Взаимодействие зарядов и поля как возмущение. Дипольное приближение и его границы применимости. Сильные и слабые взаимодействия. Понятие темного атомного состояния.</p>										
<p>Испускание фотона атомом в дипольном приближении. Сечение рас</p>										

<p>Тема 2. Модифицированные конечномерные модели КЭД.</p> <p>Обобщения модели Джейнса-Каммингса и их физические реализации. Приближение вращающейся волны и условие его применимости. Ридберговские атомы.</p> <p>Модель Тависа-Каммингса. Темные, светлые и невидимые состояния атомных ансамблей. Двух-уровневые и многоуровневые атомы. Ансамблевые осцилляции Раби.</p> <p>Оптическая проводимость графов в классическом и квантовом случаях.</p>	16	4	4	-	-	2	10	6	-	6
--	-----------	---	---	---	---	---	-----------	---	---	----------

<p>Тема 3. Элементы теории открытых квантовых систем</p> <p>Квантовые марковские процессы и их описание через операторы Крауса и уравнение Линдблада (основное квантовое уравнение). Стабилизация квантовых состояний при декогерентности и ее виды. Роль темных состояний ансамблей двухуровневых атомов.</p>	<p>16</p>	<p>4</p>	<p>4</p>	<p>-</p>	<p>-</p>	<p>2</p>	<p>10</p>	<p>6</p>	<p>-</p>	<p>6</p>
---	------------------	----------	----------	----------	----------	----------	------------------	----------	----------	-----------------

<p>Тема 4. Принципы рас- параллеливания для конечномерных моде- лей КЭД</p> <p>Квантовые эффекты, имеющие практическое применение, описывае- мые в модели ТСН: dephasing assisted transport и квантовое бу- тылочное горлышко. Связь между ними.</p> <p>Структура темных со- стояний в конечномерных моделях КЭД.</p> <p>Построение и компью- терное моделирование квантовых гейтов на фо- тонных состояниях.</p>	18	10	-	-	-	2	22	6	-	12
<p>Промежуточная атте- стация – практическое контрольное задание + индивидуальное бесе- дование</p>	42	-	-	2	-	4	6	36	-	36
<p>Итого</p>	108						72	72		

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ УЧАЩИХСЯ

Самостоятельная работа учащихся состоит в изучении лекционного материала, учебно-методической литературы, подготовки к практическим заданиям текущего контроля и промежуточной аттестации.

11. РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Основная учебно-методическая литература

- 1) Р.Фейнман, Д.Лейтон, П.Сэндз, «Квантовая механика», М.Наука, 2006.
- 2) В.М.Акулин, «Динамика сложных квантовых систем», М.Наука, Физ-мат. Лит., 496 стр., 2009.
- 3) Дж. Прескилл, «Квантовые вычисления и квантовые коммуникации» (1,2,3 тома), М.:Бином, 2009. Электронный вариант: Jh. Preskill, Quantum computations and communications, Lecture Notes in Computer Science, 2001.
- 4) Д.А.Кронберг, Ю.И.Ожигов, А.Ю.Чернявский, «Квантовая информатика и квантовый компьютер», изд.-во Макс-Пресс, МГУ, М. 2011.
- 5) Х-П.Бройер, Ф.Петруччионе, «Теория открытых квантовых систем», РХД, Москва-Ижевск, 2010.

Дополнительная учебно-методическая литература

- 1) Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц, «Квантовая механика. Нерелятивистская теория», М.Наука, Физ-мат. Лит. 1971.
- 2) Д.А.Кронберг, Ю.И.Ожигов, А.Ю.Чернявский, «Алгебраический аппарат квантовой информатики», изд.-во Макс-Пресс, МГУ, М. 2011.
- 3) Ю.И.Ожигов, «Квантовые вычисления», изд.-во Макс-Пресс, МГУ, 2003.
- 4) К.Коэн-Таннуджи, Б.Диу, Ф.Лалоз, «Квантовая механика.» тома 1,3. М., URSS, 2016. - 412 стр.

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

- 1) <http://www.arxiv.org>, quant-ph
- 2) <http://sci.cs.msu.ru/>
- 3) <http://sqi.cs.msu.su/learning/materials>

Информационные технологии, используемые в процессе обучения

В процессе обучения используются пакеты прикладных программ МАТНЕМАТИСА, Lapack.

Материально-техническая база

Для преподавания дисциплины желательно иметь на ноутбуках слушателей установленный пакет МАТНЕМАТИСА, или интерпретатор Python, а также подключение к Интернет.

12. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ

Русский

13. РАЗРАБОТЧИК ПРОГРАММЫ, ПРЕПОДАВАТЕЛИ

д.ф.- м.н., профессор Ожигов Юрий Игоревич (ozhigov@cs.msu.su)

Оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине

Промежуточная аттестация состоит из двух этапов – выполнения практического контрольного задания, проверяющего приобретенные учащимся умения и навыки, и индивидуального собеседования, проверяющего приобретенные знания.

Средства для оценивания планируемых результатов обучения, критерии и показатели оценивания приведены ниже.

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ	КРИТЕРИИ и ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ из соответствующих карт компетенций					ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА
	1	2	3	4	5	
	Неудовлетворительно	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично	
ЗНАТЬ: современные математические методы, применяющиеся для решения задач в области естественных наук, экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий Код 31 (ОПК-1)	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о современных математических методах, применяющихся для решения задач в области естественных наук, экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий	В целом сформированные, но неполные знания о современных математических методах, применяющихся для решения задач в области естественных наук, экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания о современных математических методах, применяющихся для решения задач в области естественных наук, экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий	Сформированные систематические знания о современных математических методах, применяющихся для решения задач в области естественных наук, экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий	Устный экзамен

<p>УМЕТЬ: применять современные методы постановки и анализа задач в области математики и информатики Код У1 (ОПК-1)</p>	Отсутствие умений	Фрагментарные умения применять современные методы постановки и анализа задач в области математики и информатики	В целом успешное, но не систематическое умение применять современные методы постановки и анализа задач в области математики и информатики	Успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять современные методы постановки и анализа задач в области математики и информатики	Сформированное умение применять современные методы постановки и анализа задач в области математики и информатики	отчет
<p>ВЛАДЕТЬ: навыками оптимального выбора современных методов и средств постановки и анализа задач в области математики и информатики Код В1 (ОПК-1)</p>	Отсутствие навыков	Фрагментарное владение навыками оптимального выбора современных методов и средств постановки и анализа задач в области математики и информатики	В целом успешное, но не полное владение навыками оптимального выбора современных методов и средств постановки и анализа задач в области математики и информатики	Успешное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками оптимального выбора современных методов и средств постановки и анализа задач в области математики и информатики	Сформированное владение навыками оптимального выбора современных методов и средств постановки и анализа задач в области математики и информатики	отчет
<p>ЗНАТЬ: современные алгоритмы разработки программного обеспечения вычислительных комплексов; Код З1 (ПК-3)</p>	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о современных алгоритмах разработки программного обеспечения вычислительных комплексов	В целом сформированные, но неполные знания о современных алгоритмах компьютерной математики, о математической теории, лежащей в их основе	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания о современных алгоритмах компьютерной математики, о математической теории, лежащей в их основе	Сформированные систематические знания о современных алгоритмах компьютерной математики, о математической теории, лежащей в их основе	Устный экзамен

<p>УМЕТЬ: применять современные алгоритмы разработки программного обеспечения вычислительных комплексов Код У1 (ПК-3)</p>	Отсутствие умений	Фрагментарные умения применять современные алгоритмы разработки программного обеспечения вычислительных комплексов	В целом успешное, но не систематическое умение применять современные алгоритмы разработки программного обеспечения вычислительных комплексов	Успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять современные алгоритмы разработки программного обеспечения вычислительных комплексов	Сформированное умение применять современные алгоритмы разработки программного обеспечения вычислительных комплексов	отчет
<p>ВЛАДЕТЬ: базовыми навыками выбора современных алгоритмов разработки программного обеспечения вычислительных комплексов Код В1 (ПК-3)</p>	Отсутствие навыков	Фрагментарное владение базовыми навыками выбора современных алгоритмов разработки программного обеспечения вычислительных комплексов	В целом успешное, но не полное владение базовыми навыками выбора современных алгоритмов разработки программного обеспечения вычислительных комплексов	Успешное, но содержащее отдельные пробелы владение базовыми навыками выбора современных алгоритмов разработки программного обеспечения вычислительных комплексов	Сформированное владение базовыми навыками выбора современных алгоритмов разработки программного обеспечения вычислительных комплексов	отчет

<p>ЗНАТЬ: современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современные методы разработки и реализации алгоритмов их решения Код 31 (ПК-1)</p>	<p>Отсутствие знаний</p>	<p>Фрагментарные представления о современных методах построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современных методах разработки и реализации алгоритмов их решения</p>	<p>В целом сформированные, но неполные знания о современных методах построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современных методах разработки и реализации алгоритмов их решения</p>	<p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания о современных методах построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современных методах разработки и реализации алгоритмов их решения</p>	<p>Сформированные систематические знания о современных методах построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современных методах разработки и реализации алгоритмов их решения</p>	<p>Устный экзамен</p>
---	--------------------------	---	--	--	---	-----------------------

<p>УМЕТЬ: применять современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современные методы разработки и реализации алгоритмов их решения</p> <p>Код У1 (ПК-1)</p>	<p>Отсутствие умений</p>	<p>Фрагментарные умения применять современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современные методы разработки и реализации алгоритмов их решения</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое умение применять современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современные методы разработки и реализации алгоритмов их решения</p>	<p>Успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современные методы разработки и реализации алгоритмов их решения</p>	<p>Сформированное умение применять современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современные методы разработки и реализации алгоритмов их решения</p>	<p>отчет</p>
--	--------------------------	--	--	--	---	--------------

<p>ВЛАДЕТЬ: навыками оптимального выбора современных методов построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современных методов разработки и реализации алгоритмов их решения</p> <p>Код В1 (ПК-1)</p>	<p>Отсутствие навыков</p>	<p>Фрагментарное владение навыками оптимального выбора современных методов построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современных методов разработки и реализации алгоритмов их решения</p>	<p>В целом успешное, но не полное владение навыками оптимального выбора современных методов построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современных методов разработки и реализации алгоритмов их решения</p>	<p>Успешное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками оптимального выбора современных методов построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современных методов разработки и реализации алгоритмов их решения</p>	<p>Сформированное владение навыками оптимального выбора современных методов построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современных методов разработки и реализации алгоритмов их решения</p>	<p>отчет</p>
---	---------------------------	---	--	---	--	--------------

Фонды оценочных средств

Примерные практические контрольные задания для текущего контроля успеваемости.

ПКЗ ТК1. Написание уравнения Линдблада для модели с заданным числом n оптических полостей, распределения атомов внутри полостей, и изменяемым режимом взаимодействия с окружением.

Примерные варианты заданий:

1. Одна полость с двумя атомами с плавно меняющимся взаимодействием с полем. Декогерентность: утечка и приток фотонов из полости.
2. Одна полость с одним атомом. Декогерентность: приток и исток фотонов в резервуар с переменной интенсивностью.
3. Две полости с атомом в каждой. Декогерентность: сток фотонов из одной полости, приток — в другую полость; оба процесса с переменной интенсивностью.

3. Две полости с атомом в каждой. Декогерентность: взаимодействие атомных возбуждений с тепловым шумом на резонансной частоте.
4. Одна полость с двумя атомами с одинаковым взаимодействием с полем и диполь-дипольным взаимодействием между атомами при условии меняющегося расстояния между атомами. Декогерентность: сток фотонов из обеих полостей.
5. Одна полость с 4 и 6 атомами. Разные типы темных состояний, смешанные состояния атомов и поля.

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

ПКЗ ТК2. Вычисление степени запутанности между состояниями атомного ансамбля в случае трук-уровневых атомов и поля трех-модового и визуализация результатов в виде двухмерного графика — для каждого из заданий из ПКЗ ТК1. Предполагается использование пакета МАТНЕМАТИСА-9 или самостоятельное написание программы на языке Python. Задание более трудоемкое, чем ПКЗ ТК1, и может быть разбито на подзадания в зависимости от программистской квалификации студентов. Первое подзадание: написание кода программы вычисления общей матрицы плотности системы «атомы+поле». Второе подзадание: написание кода вычисления относительно матрицы плотности атомного ансамбля. Третье подзадание: написание блока визуализации результатов расчета. Четвертое подзадание: отладка программы и численные эксперименты с выводом окончательного графика.

ПКЗ ТК3. Расчет работы гейта нелинейного поворота фазы $C\text{Sign3}$: $|0\rangle \rightarrow |0\rangle$, $|1\rangle \rightarrow |1\rangle$, $|2\rangle \rightarrow -|2\rangle$ на фотонных состояниях с помощью атома, помещенного в оптическую полость с учетом конечной скорости включения ячеек Поккельса. Составление гамильтониана с использованием кубитового представления dual-rail, и расчет динамики по образцу задания ПКЗ ТК2. В ходе работы моделирующей программы надо вычислять функцию соответствия Fidelity текущего состояния и теоретически необходимого состояния. Конечный результат — определение уровня ошибки данного варианта фотонного гейта в зависимости от частоты моды и степени утечки фотонов, как фактора декогерентности.

Список вопросов для индивидуального собеседования на промежуточной аттестации.

- 1) Конечномерные модели КЭД. Однородные ансамбли и принцип причинности.
- 2) Элементы теории возмущений и их приложения к конечномерным моделям КЭД. Приближение вращающейся волны.
- 3) Уравнения Максвелла и их релятивистская инвариантность.
- 4) Квантовый гармонический осциллятор, взаимодействующих с внешним полем. Фейнмановское описание. Спектр и основное состояние. Связь с оператором Фурье.

- 5) Скалярный и векторный потенциалы поля. Связь с законом Кулона. Интеграл по траекториям зарядов. Интеграл по траекториям поля.
 - 6) Модели Джейнса-Каммингса, Тависа-Каммингса и их модификации для многомодовых полостей.
 - 7) Условие пригодности приближения вращающейся волны и его практическое применение для известного атома.
 - 8) Частота рабиевских осцилляций для одно-атомного ансамбля в RWA- приближении.
 - 9) Эффект квантового бутылочного горлышка и его связь с DAT.
-
- 10) Темные состояния много-уровневых атомных ансамблей в одной полости. Их размерность (для 2-уровневого случая), структура, применения и методы получения.
 - 11) Структура программы, моделирующей динамику квантового состояния системы много-уровневых атомов и поля в одной оптической полости. Применение методов распараллеливания при реализации на суперкомпьютере.
 - 12) Система оптических полостей. Модель Тависа-Каммингса-Хаббарда. Классическая и квантовая проводимость.
 - 13) Понятие проводимости энергии в системе оптических полостей. Мера проводимости.
 - 14) Операторы Линдблада для утечки фотона из одной полости и прилета фотонов в нее. Стабилизация атомных состояний в условиях постоянной среды. Виды стабилизации.

Примерное практическое контрольное задание для промежуточной аттестации.

ПКЗ ПА. Определение структуры темных состояний, возникающих в условиях сильной утечки фотонов из полости для систем двух-уровневых и много-уровневых атомов и многомодового поля в резонаторе. Предполагается использование пакета MATHEMATICA или Python.

Результат либо визуализируется методом триангуляции. Задания могут варьироваться, если размещать в полостях различное число атомов.

Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Практическое контрольное задание для промежуточной аттестации является довольно объемным, поэтому частично выполняется в качестве четвертого задания для текущего контроля успеваемости. Выполнение каждого практического задания текущего контроля успеваемости может принести максимум 25 баллов, в итоге по результатам работы в семестре учащийся может набрать максимум 100 баллов. На промежуточной аттестации можно также набрать 100 баллов – 60 баллов максимум по итогам индивидуального собеседования и 40 баллов максимум за выполнение практического контрольного задания. Итоговая сумма, не меньшая 170, соответствует оценке «отлично», от 135 до 169 – оценке «хорошо», от 90 до 134 – оценке «удовлетворительно», меньшая 90 – оценке «неудовлетворительно».