

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт физики



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной деятельности КФУ

Проф. Таюрский Д.А.



\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

*подписано электронно-цифровой подписью*

**Программа дисциплины**  
Квантовая физика Б1.Б.3.1

Направление подготовки: 03.04.02 - Физика

Профиль подготовки: Физика сложных систем

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Гайнутдинов Р.Х.

**Рецензент(ы):**

Нефедьев Л.А.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Салахов М. Х.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_\_ от "\_\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Института физики:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_\_ от "\_\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный No 6144917

Казань  
2017

## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) профессор, д.н. (профессор) Гайнутдинов Р.Х.  
Кафедра оптики и нанофотоники Отделение физики, Renat.Gainutdinov@kpfu.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

изучение фундаментальных принципов квантовой физики и ее наиболее важных проблем, для решения которых могут потребоваться кардинальные изменения в квантовой теории;  
формирование у студентов современного естественнонаучного мировоззрения на квантовую теорию и ее роль в современной физической картине мира.

### 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б1.Б.3 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 03.04.02 Физика и относится к базовой (общепрофессиональной) части. Осваивается на 1 курсе, 1 семестр.

Дисциплина М2.Ф.2 "Современные проблемы физики: квантовая физика" является базовой частью программы для магистратуры по направлению 510402 "Физика атомов и молекул" (блок М2).

Изучение данной дисциплины базируется на вузовской подготовке студентов по высшей математике, общей физике и теоретической физике (разделы: "Квантовая теория", "Атомная физика", "Физика атомного ядра и элементарных частиц").

Основные положения дисциплины должны быть использованы в дальнейшем при изучении следующих дисциплин:

- М2.Р.2 "Квантовая оптика", М2.Р.1 "Взаимодействие электромагнитного поля с атомами и наноструктурами", М2.В3 "квантовая теория магнетизма".

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-1 (общекультурные компетенции)	способностью к абстрактному мышлению, анализу, синтезу
ОПК-5 (профессиональные компетенции)	способностью использовать свободное владение профессионально-профилированными знаниями в области компьютерных технологий для решения задач профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами направленности (профиля) подготовки
ОПК-6 (профессиональные компетенции)	способностью использовать знания современных проблем и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способностью самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта
ПК-8 (профессиональные компетенции)	способностью методически грамотно строить планы лекционных и практических занятий по разделам учебных дисциплин и публично излагать теоретические и практические разделы учебных дисциплин в соответствии с утвержденными учебно-методическими пособиями

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

основополагающие принципы современной квантовой теории; основные положения канонического и фейнмановского подходов к квантовой теории; парадокс Эйнштейна, Подольского и Розена и квантовый парадокс Зенона.

2. должен уметь:

применять физические идеи лежащие в основе парадокса Эйнштейна-Подольского-Розена и парадокса Зенона для решения прикладных задач физики и квантовой информатики; использовать при работе справочную и учебную литературу в области квантовой физики, находить другие необходимые источники информации и работать с ними.

3. должен владеть:

методами современной квантовой физики.

4. должен демонстрировать способность и готовность:

к участию в исследованиях, связанных с решением задач современной квантовой физики

#### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных(ые) единиц(ы) 108 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины экзамен в 1 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

##### Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Современный статус квантовой физики.	1	1	2	0	0	Коллоквиум
2.	Тема 2. Явление квантовой интерференции.	1	2	0	2	0	Коллоквиум
3.	Тема 3. Основные принципы канонической формулировки квантовой теории.	1	3	2	0	0	Коллоквиум
4.	Тема 4. Вероятностная природа квантовой механики.	1	4	0	2	0	Коллоквиум

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
5.	Тема 5. Наблюдаемые. Операторный формализм.	1	5	2	0	0	Коллоквиум
6.	Тема 6. Динамический постулат.	1	6	0	2	0	Коллоквиум
7.	Тема 7. Основные принципы фейнмановской формулировки квантовой механики.	1	7	3	0	0	Коллоквиум
8.	Тема 8. Интегралы по траекториям.	1	8,9	0	4	0	Коллоквиум
9.	Тема 9. Нерешенные проблемы квантовой физики.	1	10-12	3	0	0	Коллоквиум
10.	Тема 10. Проблемы квантовой механики ядерных явлений.	1	13	0	4	0	Коллоквиум
11.	Тема 11. Основные принципы квантовой физики и обобщенная квантовая динамика.	1	14	2	0	0	Коллоквиум
12.	Тема 12. Физика квантовой информации.	1	15	0	2	0	Коллоквиум
	Тема . Итоговая форма контроля	1		0	0	0	Экзамен
	Итого			14	16	0	

## 4.2 Содержание дисциплины

### Тема 1. Современный статус квантовой физики.

#### *лекционное занятие (2 часа(ов)):*

Квантовая физика и научно-техническая революция начала XX века. Нерешенные проблемы и перспективы дальнейшего развития.

### Тема 2. Явление квантовой интерференции.

#### *практическое занятие (2 часа(ов)):*

Амплитуда вероятности. Принцип суперпозиции амплитуд вероятности. Канонический и фейнмановский подходы к квантовой теории.

### Тема 3. Основные принципы канонической формулировки квантовой теории.

#### *лекционное занятие (2 часа(ов)):*

Пространство состояний квантовой системы. Пространства состояний простой частицы и поляризации фотонов.

### Тема 4. Вероятностная природа квантовой механики.

#### *практическое занятие (2 часа(ов)):*

Связь векторов состояний с результатами экспериментов. Проекционный постулат.

### Тема 5. Наблюдаемые. Операторный формализм.

#### *лекционное занятие (2 часа(ов)):*

Совместность наблюдаемых. Полная система совместных наблюдаемых. Формализм Дирака. Оснащенное гильбертово пространство состояний.

**Тема 6. Динамический постулат.**

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Оператор эволюции. Уравнение Шредингера. Связь характера динамики со свойствами непрерывности оператора эволюции. Теорема Стоуна. Возможность выхода за рамки гамильтоновой динамики.

**Тема 7. Основные принципы фейнмановской формулировки квантовой механики.**

**лекционное занятие (3 часа(ов)):**

Интерферирующие альтернативы. Структура амплитуды вероятности. Интегрирование по траекториям. Классический предел.

**Тема 8. Интегралы по траекториям.**

**практическое занятие (4 часа(ов)):**

Теория возмущений и S-матрица. Интерпретация членов ряда теории возмущений. Правила Фейнмана. Интегральное уравнение для пропагатора. Доказательство эквивалентности фейнмановской и канонической формулировок квантовой механики.

**Тема 9. Нерешенные проблемы квантовой физики.**

**лекционное занятие (3 часа(ов)):**

Проблема ультрафиолетовых (УФ) расходимостей в квантовой теории поля. Локальность во времени уравнения Шредингера как причина УФ расходимостей. Нелокальность во времени взаимодействия, генерирующего динамику открытых квантовых систем. Проблема последовательного учета такой нелокальности

**Тема 10. Проблемы квантовой механики ядерных явлений.**

**практическое занятие (4 часа(ов)):**

Программа Вайнберга построения теории ядерных сил. Несовместность гамильтоновой динамики с симметриями квантовой хромодинамики.

**Тема 11. Основные принципы квантовой физики и обобщенная квантовая динамика.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Нелокальное во времени взаимодействие. Обобщенное динамическое уравнение. Уравнение для T-матрицы. Представление Фейнмана-Дайсона.

**Тема 12. Физика квантовой информации.**

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Кубиты. Перепутывание и квантовая неразличимость. Аргументы Эйнштейна Подольского и Розена. Неравенство Белла.

**4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)**

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
1.	Тема 1. Современный статус квантовой физики.	1	1	подготовка к коллоквиуму	3	коллоквиум
2.	Тема 2. Явление квантовой интерференции.	1	2	подготовка к коллоквиуму	3	коллоквиум
3.	Тема 3. Основные принципы канонической формулировки квантовой теории.	1	3	подготовка к коллоквиуму	3	коллоквиум

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
4.	Тема 4. Вероятностная природа квантовой механики.	1	4	подготовка к коллоквиуму	3	коллоквиум
5.	Тема 5. Наблюдаемые. Операторный формализм.	1	5	подготовка к коллоквиуму	3	коллоквиум
6.	Тема 6. Динамический постулат.	1	6	подготовка к коллоквиуму	3	коллоквиум
7.	Тема 7. Основные принципы фейнмановской формулировки квантовой механики.	1	7	подготовка к коллоквиуму	3	коллоквиум
8.	Тема 8. Интегралы по траекториям.	1	8,9	подготовка к коллоквиуму	4	коллоквиум
9.	Тема 9. Нерешенные проблемы квантовой физики.	1	10-12	подготовка к коллоквиуму	6	коллоквиум
10.	Тема 10. Проблемы квантовой механики ядерных явлений.	1	13	подготовка к коллоквиуму	5	коллоквиум
11.	Тема 11. Основные принципы квантовой физики и обобщенная квантовая динамика.	1	14	подготовка к коллоквиуму	3	коллоквиум
12.	Тема 12. Физика квантовой информации.	1	15	подготовка к коллоквиуму	3	коллоквиум
	Итого				42	

## 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

лекции с использованием демонстрации опытов и ярких явлений в физике;  
 проведение физического практикума;  
 самостоятельная работа студентов;  
 консультации.

## 6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

### Тема 1. Современный статус квантовой физики.

коллоквиум , примерные вопросы:

1. Почему состояния описываются лучами? 2. Собственные состояния 3. Основные свойства собственных состояний 4. Как определяются операторы?

### Тема 2. Явление квантовой интерференции.

коллоквиум , примерные вопросы:

5. Почему операторы должны быть эрмитовыми? 6. Смысл состояния  $c_1|\psi_x\rangle + c_2|\psi_y\rangle$ . 7. Оператор  $p_x$

### **Тема 3. Основные принципы канонической формулировки квантовой теории.**

коллоквиум , примерные вопросы:

8. Среднее значение  $p_x$  в состоянии  $c_1|\psi_x\rangle + c_2|\psi_y\rangle$ . 9. Неопределенность  $p_x$  в состоянии  $c_1|\psi_x\rangle + c_2|\psi_y\rangle$ . 10. Что можно сказать о наблюдаемых, имеющих общие собственные вектора? 11. Обобщенное соотношение неопределенностей

### **Тема 4. Вероятностная природа квантовой механики.**

коллоквиум , примерные вопросы:

12. Координатное представление 13. Импульсное представление 14. Канонические коммутативные соотношения 15. Доказать исходя из вида оператора  $p_i$

### **Тема 5. Наблюдаемые. Операторный формализм.**

коллоквиум , примерные вопросы:

16. Доказать соотношение неопределенности Гейзенберга 17. Оператор орбитального момента  $L$  18. Уравнение Шредингера 19. Оператор эволюции

### **Тема 6. Динамический постулат.**

коллоквиум , примерные вопросы:

20. Динамическое уравнение в картине Гейзенберга 21. Динамическое уравнение в картине взаимодействия 22. Как доказывается несовместность  $L_x$ ,  $L_y$  и  $L_z$  23. Вид оператора  $L_z$

### **Тема 7. Основные принципы фейнмановской формулировки квантовой механики.**

коллоквиум , примерные вопросы:

24. Собственный вектор и собственные значения  $L^2$  и  $L_z$  25. Моментный базис 26. Уравнение Шредингера в координатном представлении 27. Уравнение Шредингера в импульсном представлении

### **Тема 8. Интегралы по траекториям.**

коллоквиум , примерные вопросы:

28. Стационарное уравнение Шредингера 29. Определить среднее значение координаты  $x$  частицы в яме в основном состоянии. 30. Определить неопределенность координаты  $x$  частицы в яме в основном состоянии.

### **Тема 9. Нерешенные проблемы квантовой физики.**

коллоквиум , примерные вопросы:

31. Определить среднее значение импульса  $p_x$  частицы в яме в основном состоянии. 32. Определить неопределенность импульса  $p_x$  частицы в яме в основном состоянии. 33. Энергетические уровни атома водорода 34. Тонкая структура атома водорода

### **Тема 10. Проблемы квантовой механики ядерных явлений.**

коллоквиум , примерные вопросы:

35. Лэмбовский сдвиг 36. Квантовые числа 37. Собственные векторы и значения оператора полного момента количества движения  $J$  38. Спин

### **Тема 11. Основные принципы квантовой физики и обобщенная квантовая динамика.**

коллоквиум , примерные вопросы:

39. Инвариантность и законы сохранения 40. Тожественные частицы и статистика. Фермионы и бозоны. 41. Связь спина и статистики. 42. Какая константа движения связана с инвариантностью относительно зеркального отражения?

### **Тема 12. Физика квантовой информации.**

коллоквиум , примерные вопросы:

43. Матрица Паули 44. Многоэлектронные атомы 45. Правила отбора

### **Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к экзамену:



Вышеприведенные вопросы к коллоквиумам и примерные тесты ведут к развитию следующих компетенций: ОК-1, ОПК-6, ОПК-5, ПК-1, ПК-8.

Контроль успеваемости в форме коллоквиума и экзамена.

Экзаменационные вопросы:

1. Явление квантовой интерференции.
2. Амплитуда вероятности. Принцип суперпозиции амплитуд вероятности.
3. Канонический и фейнмановский подходы к квантовой теории.
4. Основные принципы канонической формулировки квантовой теории. Пространство состояний.
5. Пространства состояний простой частицы и поляризации фотонов.
6. Связь векторов состояний с результатами экспериментов. Проекционный постулат.
7. Наблюдаемые. Операторный формализм.
8. Совместность наблюдаемых.
9. Полная система совместных наблюдаемых.
10. Формализм Дирака. Оснащенное гильбертово пространство состояний.
11. Динамический постулат. Оператор эволюции. Уравнение Шредингера.
12. Свойства непрерывности оператора эволюции. Теорема Стоуна. Возможность выхода за рамки гамильтоновой динамики.
13. Основные принципы фейнмановской формулировки квантовой механики.
14. Интегралы по траекториям.
15. Теория возмущений и S-матрица.
16. Интерпретация членов ряда теории возмущений. Правила Фейнмана.
17. Интегральное уравнение для пропагатора.
18. Доказательство эквивалентности фейнмановской и канонической формулировок квантовой механики.
19. Проблема ультрафиолетовых (УФ) расходимостей в квантовой теории поля.
20. Локальность во времени уравнения Шредингера как причина УФ расходимостей.
21. Нелокальность во времени взаимодействия, генерирующего динамику открытых квантовых систем.
22. Проблемы квантовой механики ядерных явлений.
23. Программа Вайнберга построения теории ядерных сил.
24. Несовместность гамильтоновой динамики с симметриями квантовой хромодинамики.
25. Обобщенная квантовая динамика.
26. Нелокальное во времени взаимодействие и обобщенное динамическое уравнение.
27. Уравнение для T-матрицы.
28. Модель с сепарабельным взаимодействием.
29. Представление Фейнмана-Дайсона.
30. Физика квантовой информации. Кубиты.
31. Перепутывание и квантовая неразличимость.
32. Аргументы Эйнштейна Подольского и Розена. Неравенство Белла.

### 7.1. Основная литература:

Кочелаев Б.И. Квантовая теория: конспект лекций / Б. И. Кочелаев; Казан. федер. ун-т, Ин-т физики, Каф теорет. физики. [2-е изд., перераб., доп. и испр.]. - Казань: [Казанский университет], 2013. 222 с.



Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

Лекции проводятся в аудитории, оснащенной современным мультимедийным оборудованием.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 03.04.02 "Физика" и магистерской программе Физика сложных систем.

Автор(ы):

Гайнутдинов Р.Х. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Нефедьев Л.А. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.