

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 М2.Б.1.1

Направление подготовки: 011200.68 - Физика

Профиль подготовки: Теоретическая и математическая физика

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 650717

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 " М2.Б.1 Профессиональный" основной образовательной программы 011200.68 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 демонстрировать углубленные знания в области математики и естественных наук
ОК-5 (общекультурные компетенции)	способностью порождать новые идеи (креативность)
ОК-7 (общекультурные компетенции)	способностью адаптироваться к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности, к изменению социокультурных и социальных условий деятельности
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способностью свободно владеть фундаментальными разделами физики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач (в соответствии со своей магистерской программой)
ПК-2 (профессиональные компетенции)	способностью использовать знания современных проблем физики, новейших достижений физики в своей научно-исследовательской деятельности

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-5 (профессиональные компетенции)	способностью использовать свободное владение профессионально-профилированными знаниями в области информационных технологий, современных компьютерных сетей, программных продуктов и ресурсов Интернет для решения задач профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами профильной подготовки
ПК-6 (профессиональные компетенции)	научно-инновационная деятельность: способностью свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач (в соответствии с профилем подготовки)
ПК-7 (профессиональные компетенции)	способностью свободно владеть профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации (в соответствии с профилем подготовки)

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 зачетных(ые) единиц(ы) 72 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины зачет 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	
	Тема 1. Современный						

статус квантовой физики.

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
2.	Тема 2. Явление квантовой интерференции.	1	2	0	2	0	
3.	Тема 3. Основные принципы канонической формулировки квантовой теории.	1	3	2	0	0	
4.	Тема 4. Вероятностная природа квантовой механики.	1	4	0	2	0	
5.	Тема 5. Наблюдаемые. Операторный формализм.	1	5	2	0	0	
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	
8.	Тема 8. Интегралы по траекториям.	1	8,9	0	3	0	
9.	Тема 9. Нерешенные проблемы квантовой физики.	1	10-12	4	0	0	
10.	Тема 10. Проблемы квантовой механики ядерных явлений.	1	13	0	4	0	
11.	Тема 11. Основные принципы квантовой физики и обобщенная квантовая динамика.	1	14	2	0	0	
12.	Тема 12. Физика квантовой информации.	1	15	0	2	0	Коллоквиум
	Тема . Итоговая форма контроля	1		0	0	0	Зачет
	Итого			15	15	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 (3 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 (4 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
6.	Тема 6. Динамический постулат.	1	6	Изучение лекционного материала по конспекту с использованием рекомендованной литературы	21	коллоквиум
12.	Тема 12. Физика квантовой информации.	1	15	Изучение лекционного материала по конспекту с использованием рекомендованной литературы	21	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.**

**Тема 2. Явление квантовой интерференции.**

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

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

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

**Тема 6. Динамический постулат.**

коллоквиум, примерные вопросы:

1. Почему состояния описываются лучами? 2. Собственные состояния 3. Основные свойства собственных состояний 4. Как определяются операторы? 5. Почему операторы должны быть эрмитовыми? 6. Смысл состояния  $c_1|\psi_x\rangle + c_2|\psi_y\rangle$ . 7. Оператор  $p_x$  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 12. Координатное представление 13. Импульсное представление 14. Канонические коммутативные соотношения 15. Доказать исходя из вида оператора  $p_i$  16. Доказать соотношение неопределенности Гейзенберга 17. Оператор орбитального момента  $L$  18. Уравнение Шредингера 19. Оператор эволюции 20. Динамическое уравнение в картине Гейзенберга 21. Динамическое уравнение в картине взаимодействия 22. Как доказывается несовместность  $L_x$ ,  $L_y$  и  $L_z$

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

**Тема 8. Интегралы по траекториям.**



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

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

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

**Тема 12. Физика квантовой информации.**

коллоквиум, примерные вопросы:

23. Вид оператора  $L_z$  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 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. 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 35. Лэмбовский сдвиг 36. Квантовые числа 37. Собственные векторы и значения оператора полного момента количества движения  $J$  38. Спин 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? 43. Матрица Паули 44. Многоэлектронные атомы 45. Правила отбора

**Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к зачету:

Контроль успеваемости в форме коллоквиума и зачета.

Контрольные 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.

Сивухин, Д. В. Общий курс физики: учебное пособие для вузов: В 5 томах / Д. В. Сивухин. ? Москва: Физматлит, 2006 .? ; 22 см. Т. 5: Атомная и ядерная физика .? Издание 3-е, стереотипное .? Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2006 .? 784 с.: ил.

Фейнман, Р. Дюжина лекций: шесть попроче и шесть посложнее: перевод с английского / Р. Фейнман; Пер. Е. В. Фалёва, В. А. Носенко. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. - 317 с.: ил. [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=50540](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=50540)

### 7.2. Дополнительная литература:

Паршаков А.Н., Введение в квантовую физику. - М.: "Лань", 2010. - 352 с.; [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=297](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=297)

Шпольский Э.В., Атомная физика. Том 2. Основы квантовой механики и строение электронной оболочки атома. - "Лань", 2010. - 448 с.; [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=443](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=443)

Давыдов А.С. Квантовая механика: учебное пособие. - СПб: БХВ Петербург, 2011. - 704 с. <http://znanium.com/bookread.php?book=351130>

### 7.3. Интернет-ресурсы:

Гайнутдинов Р.Х., Калачев А.А., Мутыгуллина А.А., Хамадеев М.А., Салахов М.Х. Взаимодействие атомов с полем лазерного излучения и резонансная флуоресценция. Казань 2013, 32 с. - <http://shelly.kpfu.ru/e-ksu/docs/F1215185736/metodichka.VZAIMODEJSTVIE.ATOMOV.S.POLEM..pdf>

Гайнутдинов, Р.Х. Парадоксы квантовой механики: квантовый парадокс Зенона / Р.Х. Гайнутдинов, А.А. Мутыгуллина. Учебно-методическое пособие для магистрантов первого года обучения физического факультета. Научный редактор - М.Х. Салахов. - 2009. - Казань, КГУ. - 18 с.(1.5 п.л.) - <http://shelly.kpfu.ru/e-ksu/docs/F1341557413/Zeno.paradox.pdf>

Квантовая теория поля ? Физическая энциклопедия - [http://www.femto.com.ua/articles/part\\_1/1562.html](http://www.femto.com.ua/articles/part_1/1562.html)

Квантовая физика -

<http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%B0%>

Популярный ресурс по современной физике - <http://ysfine.com/>

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Квантовая физика" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

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 011200.68 "Физика" и магистерской программе Теоретическая и математическая физика.

Автор(ы):

Гайнутдинов Р.Х. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Нефедьев Л.А. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.