




МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДВФУ)  
**ИНСТИТУТ НАУКОЕМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРЕДОВЫХ МАТЕРИАЛОВ (ШКОЛА)**

СОГЛАСОВАНО

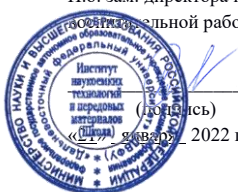
Руководитель ОП ДТФИТ

  
(подпись)

Нефедев К.В.  
(ФИО)

УТВЕРЖДАЮ

И.о. зам. директора по учебной и  
методической работе ИНТПМ



  
(подпись)

Красицкая С.Г.  
(ФИО)

2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Введение в теорию квантовых измерений**  
**Программа бакалавриата**  
**по направлению подготовки 03.03.02 Физика,**  
**профиль «Цифровые технологии в физике»**

Форма подготовки очная

курс 4 семестр 7  
лекции 30 час.  
практические занятия 58 час.  
лабораторные работы не предусмотрены.  
в том числе с использованием МАО 18 час.  
всего часов аудиторной нагрузки 88 час.  
самостоятельная работа 20 час.  
в том числе на подготовку к экзамену не предусмотрено.  
контрольные работы (количество) не предусмотрены  
курсовая работа / курсовой проект не предусмотрены  
зачет 7 семестр  
экзамен не предусмотрен

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями  
Федерального государственного образовательного стандарта  
по направлению подготовки **03.03.02 Физика**,  
утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования РФ  
от 7 августа 2020 г. № 891.

Рабочая программа обсуждена на заседании Департамента теоретической физики и  
интеллектуальных технологий, протокол № 4 от «25» ноября 2021 г.  
Директор Департамента: Нефедев К.В.  
Составитель: к.ф.-м.н. Шульга Д. В.

Владивосток,  
2022

**Оборотная сторона титульного листа РПД**

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании ДТФИТ:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_

Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании ДТФИТ:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_

Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**III. Рабочая программа пересмотрена на заседании ДТФИТ:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_

Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**IV. Рабочая программа пересмотрена на заседании ДТФИТ:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_

Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## 1. Цели и задачи освоения дисциплины:

Цель: приобретение систематизированных знаний по квантовой теории измерений и статистической интерпретации квантовой механики. Процесс измерения в квантовой механике описывает, каким образом изменяется квантовая система, если над ней производится измерение, таким образом влияя на предсказания относительно поведения системы в будущем. С другой стороны, измерение дает рецепт для приготовления квантовой системы в определенном состоянии. Понимание теории квантовых измерений необходимо для более глубокого осознания самих основ квантовой теории, а также для понимания физики квантовой информации.

Задачи:

- изучение основных принципов квантовой теории измерений;
- выработка навыков решения типовых задач;
- овладение методами квантовой теории измерений, применяемыми при решении задач квантовой теории информации.

Для успешного изучения дисциплины «Введение в теорию квантовых измерений» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- УК-1.3 применяет методики поиска, сбора и обработки информации с помощью современных компьютерных технологий, системный подход при работе с информацией в глобальных компьютерных сетях и корпоративных информационных системах, основы технологии создания баз данных для решения поставленных задач .

- УК-6.2 планирует собственное время; определяет стратегические, тактические и оперативные задачи.

Профессиональные компетенции выпускников и индикаторы их достижения:

Тип задач	Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции
научно-исследовательский	ПК-1 Способен использовать специализированные знания в области физики, а также стандартные программные средства компьютерного	ПК -1.1 Анализирует способы определения видов и типов профессиональных задач, структурирования задач различных групп

Тип задач	Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции
	моделирования для освоения профильных физических дисциплин	
	ПК-2 Анализирует способы определения видов и типов профессиональных задач, структурирования задач различных групп	ПК -2.2 Планирует отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР, готовит элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР
	ПК-3 Способен оказывать информационную поддержку специалистам, осуществляющим научно-исследовательские работы	ПК-3.1 Применяет современные информационные технологии и программные средства при решении научно-исследовательских задач

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
ПК -1.1 Анализирует способы определения видов и типов профессиональных задач, структурирования задач различных групп	Знает способы определения видов и типов профессиональных задач, структурирования задач различных групп.
	Умеет структурировать задачи различных групп.
	Владеет навыками анализа способов определения видов и типов профессиональных задач, структурирования задач различных групп
ПК -2.2 Планирует отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР, готовит элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР	Знает требования отдельных стадий исследования при наличии общего плана НИР
	Умеет составлять и оформлять научно-технические отчеты, готовить публикации по результатам выполненных исследований с учетом существующих требований
	Владеет навыками планирования отдельных стадий исследования, готовит элементы документации при подготовке научно-технических отчетов, публикаций по результатам выполненных исследований в соответствии с предъявляемыми требованиями
ПК-3.1 Применяет современные информационные технологии и программные средства при решении научно-исследовательских задач	Знает возможности применения современных информационных технологий и программных средств при решении научно-исследовательских задач
	Умеет осуществлять подготовку программных средств при решении научно-исследовательских задач
	Владеет навыками использования современных информационных технологий и программных средств при решении научно-исследовательских задач

## 2. Трудоёмкость дисциплины и видов учебных занятий по дисциплине

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачётные единицы (108 академических часов).

(1 зачетная единица соответствует 36 академическим часам)

Видами учебных занятий и работы обучающегося по дисциплине могут являться:

Обозначение	Виды учебных занятий и работы обучающегося
Лек	Лекции
Пр	Практические занятия
СР	Самостоятельная работа обучающегося в период теоретического обучения
Контроль	Самостоятельная работа обучающегося и контактная работа обучающегося с преподавателем в период промежуточной аттестации

#### Структура дисциплины:

Форма обучения – очная.

№	Наименование раздела дисциплины	Семестр	Количество часов по видам учебных занятий и работы обучающегося					Контроль	Формы промежуточной аттестации
			Лек	Лаб	Пр	ОК	СР		
1	Раздел 1. Классическая и квантовая вероятность.	7	5	-	10	-	20	-	УО-1, ПР-7
2	Раздел 2. Принципы квантовой теории.		5		10				
3	Раздел 3. Чистые и смешанные.		5		10				
4	Раздел 4. Теория квантовых измерений.		5		10				
5	Раздел 5. Декогеренция.		5		9				
6	Раздел 6. Интерпретации квантовой механики.		5		9				
10	Итого:	7	30	-	58	-	20	-	

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

#### Лекционные занятия

#### Раздел 1. Классическая и квантовая вероятность.

### **Тема 1. Случайные величины.**

Определение случайных величин. Преобразование случайных величин. Математические ожидания и характеристическая функция. Стохастические процессы. Марковские процессы. Уравнение Чепмена-Колмогорова. Детерминированные процессы и уравнение Лиувилля. Диффузионные процессы и уравнение Фоккера-Планка.

### **Тема 2. Классические и квантовые состояния.**

Вероятностная природа квантовых состояний. Онтологический статус квантовых состояний.

### **Раздел 2. Принципы квантовой теории.**

#### **Тема 1. Принцип суперпозиции.**

Интерпретация суперпозиций. Экспериментальная проверка суперпозиций.

#### **Тема 2. Квантовая запутанность.**

Квантовые и классические корреляции. Количественная оценка запутанности и различимости.

#### **Тема 3. Квантовые уравнения движения.**

Уравнение Шредингера и гамильтониан. Гамильтониан в представлении Гайзенберга. Уравнение Гайзенберга. Скобка Пуассона и коммутатор.

### **Раздел 3. Чистые и смешанные.**

#### **Тема 1. Чистые и смешанные состояния в теоретической механике.**

Представления Гамильтона и Лиувилля в теоретической механике. Уравнения в представлении взаимодействия.

#### **Тема 2. Дуализм волна-частица.**

Поведение микрочастицы. Флуктуации и необратимость. "Радиоактивный распад". Броуновское движение квантовой частицы. Микромир и макромир.

#### **Тема 3. Квантовомеханическая матрица плотности.**

Матрицы плотности в чистом состоянии. Матрицы плотности смешанного состояния. Количественная оценка степени "смешанности". Матрица плотности для подсистемы.

#### **Тема 4. Необратимость классическая и квантовая.**

Мезомир. Коллапсы волновых функций. Классический молекулярный хаос.

### **Раздел 4. Теория квантовых измерений.**

### **Тема 1. Идеальные квантовые измерения.**

Схема фон Неймана для идеального квантового измерения. Проекторы фон Неймана и их обобщения. Реализация проективных измерений. Квантовый ластик. Операции и эффекты. Теорема представления для квантовых операций.

### **Тема 2. Квантовые неразрушающие измерения.**

Квантовое измерение и энтропия. Приблизительные измерения. Непрямые квантовые измерения.

### **Тема 3. Непрерывные измерения.**

Проективные непрерывные измерения. Квантовый эффект Зенона. Экспериментальная проверка. Модель квантовой диффузии.

### **Раздел 5. Декогеренция.**

#### **Тема 1. Измерение и декогеренция.**

Повторные измерения как модель декогеренции. Проблема предпочтительного базиса.

#### **Тема 2. Мышь Эйнштейна. Кот Шредингера. Друг Вигнера.**

**Тема 3. Квантовая криптография и телепортация. Квантовые вычисления.**

### **Раздел 6. Интерпретации квантовой механики.**

**Тема 1. Парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена (ЭПР). Неравенства Белла.**

**Тема 2. Статистические интерпретации. Копенгагенская интерпретация. Квантовые теории со скрытыми параметрами.**

**Тема 3. Многомировая интерпретация Эверетта. Сознание и квантовая теория.**

## **4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

### **Практические занятия**

**Практическое занятие 1. Математическое ожидание случайной величины и характеристическая функция.**

**Практическое занятие 2. Марковские процессы. Уравнение Чепмена-Колмогорова.**

**Практическое занятие 3. Детерминированные процессы и уравнение Лиувилля. Диффузионные процессы и уравнение Фоккера-Планка.**

**Практическое занятие 4. Квантовая запутанность. Квантовые и классические корреляции. Количественная оценка запутанности и различимости.**

**Практическое занятие 5. Уравнение Шредингера. Уравнение Гайзенберга. Скобка Пуассона и коммутатор.**

**Практическое занятие 6. Представления Гамильтона и Лиувилля в теоретической механике.**

**Практическое занятие 7. Броуновское движение квантовой частицы.**

**Практическое занятие 8. Матриц плотности в квантовой механике. Чистые и смешанные состояния.**

**Практическое занятие 9. Схема фон Неймана для идеального квантового измерения. Операции и эффекты.**

**Практическое занятие 10. Квантовые неразрушающие измерения.**

**Практическое занятие 11. Непрерывные измерения. Квантовый эффект Зенона.**

**Практическое занятие 12. Модель квантовой диффузии. Неразрушающие измерения.**

**Практическое занятие 13. Проблема предпочтительного базиса.**

**Практическое занятие 14. Декогеренция.**

**Практическое занятие 15. Квантовая криптография и телепортация.**

**Практическое занятие 16. Парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена (ЭПР).**

**Практическое занятие 17. Неравенства Белла.**

**Практическое занятие 18. Копенгагенская интерпретация квантовой механики.**

**Практическое занятие 19. Квантовые теории со скрытыми параметрами.**

**Практическое занятие 20. Многомировая интерпретация Эверетта.**

## **5. СТРУКТУРА, СОДЕРЖАНИЕ, УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине включает в себя:

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;



- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;
- критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

#### **План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине**

№ п/п	Вид самостоятельной работы	Дата/сроки выполнения	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1	1-3 недели семестра	Подготовка к практическому занятию	10 час.	УО-1 собеседование; ПР-7 конспект
2	4-6 недели семестра	Подготовка к практическому занятию	9 час.	УО-1 собеседование; ПР-7 конспект
3	7-8 недели семестра	Подготовка к практическому занятию	10 час.	УО-1 собеседование; ПР-7 конспект
4	9-10 недели семестра	Подготовка к практическому занятию	9 час.	УО-1 собеседование; ПР-7 конспект
4	11-13 недели семестра	Подготовка к практическому занятию	10 час.	УО-1 собеседование; ПР-7 конспект
5	14-15 недели семестра	Подготовка к практическому занятию	10 час.	УО-1 собеседование; ПР-7 конспект
6	16-18 недели семестра	Подготовка к практическому занятию	10 час.	УО-1 собеседование; ПР-7 конспект
Итого:			58 час.	

#### **Рекомендации по самостоятельной работе студентов**

*Планирование и организация времени, отведенного на выполнение заданий самостоятельной работы.*

Изучив график выполнения самостоятельных работ, следует правильно её организовать. Рекомендуется изучить конспект лекционного материала, соответствующий теме каждого практического занятия и, при необходимости, рассмотреть и детализировать отдельные интересующие или вызывающие затруднения в понимании моменты с помощью рекомендуемой литературы. Отчетность по каждому заданию предоставляется в последнюю неделю согласно графику.

#### **Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы**

При подготовке к устному опросу (УО-1) воспользоваться материалами из рекомендованной литературы. Оцениваются:

- владение материалом;
- умение формулировать свои мысли, отстаивать свою точку зрения;
- умение задавать вопросы оппоненту;
- умение отвечать на вопросы оппонента;
- умение подвести итог по результатам обсуждения.

Контроль результатов самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия и внеаудиторную самостоятельную работу студентов по дисциплине, проводится в письменной и устной форме.

Контроль самостоятельной работы студентов предусматривает:

- соотнесение содержания контроля с целями обучения;
- объективность контроля;
- валидность контроля (соответствие предъявляемых заданий тому, что предполагается проверить).

### **Критерии оценки результатов самостоятельной работы**

Критериями оценок результатов внеаудиторной самостоятельной работы студента являются:

- уровень освоения студентами учебного материала;
- умения студента использовать теоретические знания при выполнении практических задач;
- сформированность общеучебных умений;
- умения студента активно использовать электронные образовательные ресурсы, находить требующуюся информацию, применять на практике;
- обоснованность и четкость изложения ответа;
- оформление материала в соответствии с требованиями;
- умение ориентироваться в потоке информации, выделять главное;
- умение сформировать свою позицию, оценку и аргументировать ее.

## 6. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения	Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Разделы 1-2	ПК -1.1 Анализирует способы определения видов и типов профессиональных задач, структурирования задач различных групп	<p>Знает способы определения видов и типов профессиональных задач, структурирования задач различных групп.</p> <p>Умеет структурировать задачи различных групп.</p> <p>Владеет навыками анализа способов определения видов и типов профессиональных задач, структурирования задач различных групп</p>	УО-1 собеседование; ПР-7 конспект	Зачёт (вопросы 1-8)
	Разделы 3-4	ПК -2.2 Планирует отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР, готовит элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР	<p>Знает требования отдельных стадий исследования при наличии общего плана НИР</p> <p>Умеет составлять и оформлять научно-технические отчеты, готовить публикации по результатам выполненных исследований с учетом существующих требований</p> <p>Владеет навыками планирования отдельных стадий исследования, готовит элементы документации при подготовке научно-технических отчетов, публикаций по результатам выполненных исследований в соответствии с предъявляемыми требованиями</p>	УО-1 собеседование; ПР-7 конспект	Зачёт (вопросы 9-16)
	Разделы 5-6	ПК-3.1 Применяет современные информационные технологии и программные средства при решении научно-исследовательских задач	<p>Знает возможности применения современных информационных технологий и программных средств при решении научно-исследовательских задач</p> <p>Умеет осуществлять подготовку программных средств при решении научно-исследовательских задач</p> <p>Владеет навыками использования современных информационных технологий и программных средств при решении научно-исследовательских задач</p>	УО-1 собеседование; ПР-7 конспект	Зачёт (вопросы 16-24)

**Добавлено примечание ([ГАА1]):** Указывается название оценочного средства и его код согласно Положению о ФОС ДВФУ. Например: собеседование (УО-1). Если используется оценочное средство, не указанное в Положении о ФОС, приводится только его название, без кода.

**Добавлено примечание ([ГАА2]):** Промежуточная аттестация – это зачет или экзамен! В данной графе указываются номера вопросов к экзамену (зачету) согласно списку вопросов в Приложении, а также типы задач, практических заданий для проверки умений, владений согласно типовым задачам, заданиям, размещенным в Приложении 2.

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие результаты обучения, представлены в Приложении

## 7. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Основная литература

(электронные и печатные издания)

1. Белинский, А. В. Квантовые измерения : учебное пособие / А. В. Белинский. — 4-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. - 185 с. - ISBN 978-5-00101-691-5. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1093053>
2. Гринштейн, Д. Квантовый вызов. Современные исследования оснований квантовой механики : учебное пособие / Дж. Гринштейн, А. Зайонц. — 2-е изд., доп. — Долгопрудный : Издательский Дом «Интеллект», 2012. - 432 с. - ISBN 978-5-91559-124-9. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1117883>
3. Холево, А. С. Вероятностные и статистические аспекты квантовой теории : учебное пособие / А. С. Холево. — Москва : МЦНМО, 2020. — 364 с. — ISBN 978-5-4439-3448-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/267698>
4. Холево, А. С. Квантовые системы, каналы, информация : монография / А. С. Холево. — Москва : МЦНМО, 2014. — 327 с. — ISBN 978-5-4439-2092-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/267446>
5. Кадомцев Б. Б. Динамика и информация. УФН. 164. 449–530 (1994) - URL: <https://ufn.ru/ru/articles/1994/5/a/>
6. Менский М. Б. Квантовое измерение: декогеренция и сознание. УФН. 171. 459–462 (2001) — URL: <https://ufn.ru/ru/articles/2001/4/m/>
7. Менский, М. Б. Человек и квантовый мир. Странности квантового мира и тайна сознания : научно-популярное издание / М. Б. Менский. - Москва : ДМК Пресс, 2022. - 321 с. - ISBN 978-5-89818-217-5. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1910996>
8. Шпольский, Э. В. Атомная физика : учебник : в 2 томах / Э. В. Шпольский. — 6-е изд, стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022 — Том 2 : Основы квантовой механики и строение электронной оболочки атома — 2022. — 448 с. — ISBN 978-5-8114-1006-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/210401>

### Дополнительная литература

(печатные и электронные издания)

1. Прилипко, В. К. Физические основы квантовых вычислений. Динамика кубита : монография / В. К. Прилипко, И. И. Коваленко. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 216 с. — ISBN 978-5-8114-3383-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/205985>
2. Львовский, А. Отличная квантовая механика : учебное пособие : в 2 частях / А. Львовский ; перевод с английского Н. Лисова. — Москва : Альпина Паблишер, 2019 — Часть 1 — 2019. — 422 с. — ISBN 978-5-91671-952-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/140480>
3. Хренников, А. Ю. Введение в квантовую теорию информации : учебник / А. Ю. Хренников. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2008. — 284 с. — ISBN 978-5-9221-0951-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/2176>
4. Блохинцев, Д. И. Основы квантовой механики : учебное пособие / Д. И. Блохинцев. — 7-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 672 с. — ISBN 978-5-8114-0554-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/210197>
5. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика : учебное пособие : в 10 томах / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под редакцией Л. П. Питаевского. — 6-е изд., испр. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2021 — Том 3 : Квантовая механика (нерелятивистская теория) — 2021. — 800 с. — ISBN 978-5-9221-0530-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/185658>
6. Елютин, П. В. Квантовая механика с задачами : учебное пособие / П. В. Елютин, В. Д. Кривченков ; под редакцией Н. Н. Боголюбова. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2001. — 300 с. — ISBN 978-5-9221-0077-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/48207>
7. Савельев, И. В. Основы теоретической физики. В 2-х тт. Том 2. Квантовая механика : учебник для вузов / И. В. Савельев. — 6-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 432 с. — ISBN 978-5-8114-9395-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/193423>
8. Коке, Б. Изображение квантовых процессов / Б. Коке, А. Киссинджер ; перевод с английского А. А. Слинкина. — Москва : ДМК Пресс, 2019. — 880 с. — ISBN 978-5-97060-727-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/131699>

9. Перри, Р. Элементарное введение в квантовые вычисления : учебное пособие / Р. Перри. - 2-е изд. - Долгопрудный : Интеллект, 2018. - 208 с. - ISBN 978-5-91559-249-9. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1022486>

10. Кислов, А. Н. Нерелятивистская квантовая механика : учебник / А. Н. Кислов ; Мин-во науки и высш. образования РФ. - Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2020. - 256 с. - ISBN 978-5-7996-2987-8. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1957546>

11. Демидович, Б. П. Математические основы квантовой механики : учебное пособие для вузов / Б. П. Демидович. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 200 с. — ISBN 978-5-8114-9077-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/184056>

#### **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

- <https://postnauka.ru/longreads/156082>
- <https://teach-in.ru/file/synopsis/pdf/modern-experimental-studies-of-the-fundamentals-of-quantum-mechanics-M.pdf>
- <https://mipt.ru/upload/medialibrary/aca/morozov-kvantovoe-izmerenie.pdf>
- <https://mipt.ru/upload/medialibrary/533/quant-2.pdf>
- <https://habr.com/ru/post/537210/>
- <https://hi-news.ru/science/predpolagaet-li-kvantovaya-mexanika-mnozhestvennost-mirov-ili-chto-takoe-interpretaciya-everetta.html>
- [https://ai-news.ru/2019/07/kvantovye\\_izmereniya.html](https://ai-news.ru/2019/07/kvantovye_izmereniya.html)
- <https://cmp.phys.msu.ru/en/node/51>
- [https://ru.wikipedia.org/wiki/Измерение\\_\(квантовая\\_механика\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Измерение_(квантовая_механика))
- [https://translated.turbopages.org/proxy\\_u/en-ru.ru.f9941905-63e5b554-65d7aa4d-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Measurement\\_in\\_quantum\\_mechanics](https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.f9941905-63e5b554-65d7aa4d-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Measurement_in_quantum_mechanics)
- [https://translated.turbopages.org/proxy\\_u/en-ru.ru.f9941905-63e5b554-65d7aa4d-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Schrödinger%27s\\_cat](https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.f9941905-63e5b554-65d7aa4d-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Schrödinger%27s_cat)
- [https://translated.turbopages.org/proxy\\_u/en-ru.ru.f9941905-63e5b554-65d7aa4d-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Quantum\\_Zeno\\_effect](https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.f9941905-63e5b554-65d7aa4d-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Quantum_Zeno_effect)
- <http://www.physbook.ru/>

- <http://hep.phys.msu.ru>
- <http://elementy.ru/trefil/20>
- [http://www.femto.com.ua/articles/part\\_1/1557.html](http://www.femto.com.ua/articles/part_1/1557.html)
- <http://www.quantumintro.com/>
- <http://phys.org/physics-news/quantum-physics/>
- [http://www.bbc.co.uk/science/space/universe/questions\\_and\\_ideas/quantum\\_mechanics](http://www.bbc.co.uk/science/space/universe/questions_and_ideas/quantum_mechanics)

### **Перечень информационных технологий и программного обеспечения**

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используется общее программное обеспечение компьютерных учебных классов (Windows XP, Microsoft Office и др.).

## **8.МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Планирование и организация времени, отведенного на изучение дисциплины.** Приступить к освоению дисциплины следует незамедлительно в самом начале учебного семестра. Рекомендуется изучить структуру и основные положения Рабочей программы дисциплины. Обратите внимание, что кроме аудиторной работы (лекции, практические занятия) планируется самостоятельная работа, итоги которой влияют на окончательную оценку по итогам освоения учебной дисциплины. Все задания (аудиторные и самостоятельные) необходимо выполнять и предоставлять на оценку в соответствии с графиком.

В процессе изучения материалов учебного курса предлагаются следующие формы работ: чтение лекций, практические занятия.

*Лекционные занятия* ориентированы на освещение вводных тем в каждый раздел курса и призваны ориентировать студентов в предлагаемом материале, заложить теоретические и методологические основы для дальнейшей самостоятельной работы студентов.

*Практические занятия* акцентированы на принципиальных вопросах курса и призваны стимулировать выработку практических умений.

При подготовке к практическому занятию необходимо сначала ознакомиться с материалом лекции, а затем с материалами из основной и дополнительной литературы. Выучить основной теоретический материал по теме (по материалам лекций и основной литературы).

При работе с литературой необходимо внимательно изучать разделы, соответствующие теме занятия, при поиске информации в электронных системах необходимо правильно сформулировать поисковый запрос, лучше



использовать несколько вариантов запроса для расширения возможности поиска информации в сети интернет. Использовать можно только информацию с официальных тематических сайтов или сайтов организаций.

Особо значимой для профессиональной подготовки студентов является *самостоятельная работа* по курсу. В ходе этой работы студенты отбирают необходимый материал по изучаемому вопросу и анализируют его. Студентам необходимо ознакомиться с основными источниками, без которых невозможно полноценное понимание проблематики курса.

Освоение курса способствует развитию навыков обоснованных и самостоятельных оценок фактов и концепций. Поэтому во всех формах контроля знаний, особенно при сдаче зачета, внимание обращается на понимание проблематики курса, на умение практически применять знания и делать выводы.

*Работа с литературой.* Рекомендуется использовать различные возможности работы с литературой: фонды научной библиотеки ДВФУ и электронные библиотеки (<http://www.dvfu.ru/library/>), а также доступные для использования другие научно-библиотечные системы.

## 9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебные занятия по дисциплине могут проводиться в следующих помещениях, оснащенных соответствующим оборудованием и программным обеспечением, расположенных по адресу 690022, г. Владивосток, о.Русский, п. Аякс, 10:

Перечень материально-технического и программного обеспечения дисциплины приведен в таблице.

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы <sup>1</sup>	Оснащенность специальных помещений и помещений для проведения учебных занятий, для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Учебные аудитории для проведения учебных занятий:		
690922, Приморский край, г. Владивосток, остров Русский, полуостров Саперный, поселок Аякс, 10, корпус L, ауд. L 561а. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и	Помещение укомплектовано специализированной учебной мебелью (посадочных мест – 30). Доска аудиторная.	Специализированное ПО не требуется

1 В соответствии с п.4.3. ФГОС

промежуточной аттестации		
Помещения для самостоятельной работы:		
А1042 аудитория для самостоятельной работы студентов	<p>Моноблок Lenovo C360G-i34164G500UDK – 115 шт.; Интегрированный сенсорный дисплей Polymedia FlipBox; Копир-принтер-цветной сканер в e-mail с 4 лотками Xerox WorkCentre 5330 (WC5330C; Полноцветный копир-принтер-сканер Xerox WorkCentre 7530 (WC7530CPS Оборудование для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья: Дисплей Брайля Focus-40 Blue – 3 шт.; Дисплей Брайля Focus-80 Blue; Рабочая станция Lenovo ThinkCentre E73z – 3 шт.; Видео увеличитель ONYX Swing-Arm PC edition; Маркер-диктофон Touch Memo цифровой; Устройство портативное для чтения плоскочечатных текстов PEARL; Сканирующая и читающая машина для незрячих и слабовидящих пользователей SARA; Принтер Брайля Emprint SpotDot - 2 шт.; Принтер Брайля Everest - D V4; Видео увеличитель ONYX Swing-Arm PC edition; Видео увеличитель Topaz 24" XL стационарный электронный; Обучающая система для детей тактильно-речевая, либо для людей с ограниченными возможностями здоровья; Увеличитель ручной видео RUBY портативный – 2 шт.; Экран Samsung S23C200B; Маркер-диктофон Touch Memo цифровой.</p>	<p>Microsoft Windows 7 Pro MAGic 12.0 Pro, Jaws for Windows 15.0 Pro, Open book 9.0, Duxbury BrailleTranslator, Dolphin Guide (контракт № А238-14/2);  Неисключительные права на использование ПО Microsoft рабочих станций пользователей (контракт ЭА-261-18 от 02.08.2018): - лицензия на клиентскую операционную систему; - лицензия на пакет офисных продуктов для работы с документами включая формат.docx , .xlsx , .vsd , .ppt.; - лицензия на право подключения пользователя к серверным операционным системам , используемым в ДВФУ : Microsoft Windows Server 2008/2012; - лицензия на право подключения к серверу Microsoft Exchange Server Enterprise; - лицензия на право подключения к внутренней информационной системе документооборота и порталу с возможностью поиска информации во множестве удаленных и локальных хранилищах, ресурсах, библиотеках информации, включая порталные хранилища, используемой в ДВФУ: Microsoft SharePoint; - лицензия на право подключения к системе централизованного управления рабочими станциями, используемой в ДВФУ: Microsoft System Center.</p>

## 10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонды оценочных средств представлены в приложении.

*(фонды оценочных средств включают в себя: перечень форм оценивания, применяемых на различных этапах формирования компетенций в ходе освоения дисциплины модуля, шкалу оценивания каждой формы, с описанием индикаторов достижения освоения дисциплины согласно заявленных компетенций, примеры заданий текущего и промежуточного контроля, заключение работодателя на ФОС (ОМ))*



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДВФУ)

Добавлено примечание ([НРНЗ]): Исправлено на новое

---

НАЗВАНИЕ ШКОЛЫ (ФИЛИАЛА)

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
**Введение в теорию квантовых измерений**  
**Программа бакалавриата**  
**по направлению подготовки 03.03.02 Физика,**  
**профиль «Цифровые технологии в физике»**

Форма подготовки очная

**Владивосток**  
**2022**

**Перечень форм оценивания, применяемых на различных этапах формирования компетенций в ходе освоения дисциплины / модуля**

**Добавлено примечание ([ГАА4]):** Таблица копируется из п.6 РПД

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения	Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Разделы 1-2	ПК -1.1 Анализирует способы определения видов и типов профессиональных задач, структурирования задач различных групп	<p>Знает способы определения видов и типов профессиональных задач, структурирования задач различных групп.</p> <p>Умеет структурировать задачи различных групп.</p> <p>Владет навыками анализа способов определения видов и типов профессиональных задач, структурирования задач различных групп</p>	УО-1 собеседование; ПР-7 конспект	Зачёт (вопросы 1-8)
	Разделы 3-4	ПК -2.2 Планирует отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР, готовит элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР	<p>Знает требования отдельных стадий исследования при наличии общего плана НИР</p> <p>Умеет составлять и оформлять научно-технические отчеты, готовить публикации по результатам выполненных исследований с учетом существующих требований</p> <p>Владет навыками планирования отдельных стадий исследования, готовит элементы документации при подготовке научно-технических отчетов, публикаций по результатам выполненных исследований в соответствии с предъявляемыми требованиями</p>	УО-1 собеседование; ПР-7 конспект	Зачёт (вопросы 9-16)
	Разделы 5-6	ПК-3.1 Применяет современные информационные технологии и программные средства при решении научно-исследовательских задач	<p>Знает возможности применения современных информационных технологий и программных средств при решении научно-исследовательских задач</p> <p>Умеет осуществлять подготовку программных средств при решении научно-исследовательских задач</p> <p>Владет навыками использования современных информационных технологий и программных средств при решении научно-исследовательских задач</p>	УО-1 собеседование; ПР-7 конспект	Зачёт (вопросы 16-24)

**Добавлено примечание ([ГАА5]):** Указывается название оценочного средства и его код согласно Положению о ФОС ДВФУ. Например: собеседование (УО-1). Если используется оценочное средство, не указанное в Положении о ФОС, приводится только его название, без кода.

**Добавлено примечание ([ГАА6]):** Промежуточная аттестация – это зачет или экзамен! В данной графе указываются номера вопросов к экзамену (зачету) согласно списку вопросов в Приложении, а также типы задач, практических заданий для проверки умений, владений согласно типовым задачам, заданиям, размещенным в Приложении 2.

### **Оценочные средства для текущего контроля**

Текущая аттестация студентов по дисциплине проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация проводится в форме контрольных мероприятий по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

– учебная дисциплина (своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине);

– степень усвоения теоретических знаний;

– уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы;

– посещение занятий

– результаты самостоятельной работы.

Составляется календарный план контрольных мероприятий по дисциплине. Оценка посещаемости, своевременность выполнения различных видов заданий ведётся на основе журнала, который ведёт преподаватель в течение учебного семестра.

### **Вопросы для собеседования**

1. Математическое ожидание случайной величины и характеристическая функция.
2. Марковские процессы. Уравнение Чепмена-Колмогорова.
3. Детерминированные процессы и уравнение Лиувилля. Диффузионные процессы и уравнение Фоккера-Планка.
4. Квантовая запутанность. Квантовые и классические корреляции. Количественная оценка запутанности и различимости.
5. Уравнение Шредингера. Уравнение Гайзенберга. Скобка Пуассона и коммутатор.
6. Представления Гамильтона и Лиувилля в теоретической механике.
7. Броуновское движение квантовой частицы.

8. Матриц плотности в квантовой механике. Чистые и смешанные состояния.
9. Схема фон Неймана для идеального квантового измерения. Операции и эффекты.
10. Квантовые неразрушающие измерения.
11. Непрерывные измерения. Квантовый эффект Зенона.
12. Модель квантовой диффузии. Неразрушающие измерения.
13. Проблема предпочтительного базиса.
14. Декогеренция.
15. Квантовая криптография и телепортация.
16. Парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена (ЭПР).
17. Неравенства Белла.
18. Копенгагенская интерпретация квантовой механики.
19. Квантовые теории со скрытыми параметрами.
20. Многомировая интерпретация Эверетта.

<b>Оценка</b>	<b>Описание схемы оценивания</b>
«Отлично»	Показывает глубокое и прочное усвоение материала раздела. Полные, последовательные, грамотные и логически излагаемые ответы. Демонстрация обучающимся знаний в объеме рекомендованной и дополнительной литературы. Учебный материал воспроизводится с требуемой степенью точности.
«Хорошо»	Наличие в ответе несущественных ошибок, уверенно исправляемых после дополнительных и наводящих вопросов. Демонстрация обучающимся знаний в объеме пройденной программы; чёткое изложение изученного материала.

«Удовлетворительно»	Наличие несущественных ошибок в ответе, не исправляемых обучающимся. Демонстрация недостаточно полных знаний по пройденной программе, неструктурированное, нестройное изложение учебного материала при ответе.
«Неудовлетворительно»	Демонстрирует непонимание проблемы, незнание процессов изучаемой предметной области, отличающийся неглубоким раскрытием темы; незнанием основных вопросов теории, несформированными навыками анализа явлений, процессов. Допускаются серьезные ошибки в содержании ответа; незнание современной проблематики изучаемой области.

### Оценочные средства для промежуточной аттестации

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения	Шкала оценивания промежуточной аттестации			
		Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
ПК -1.1 Анализирует способы определения видов и типов профессиональных задач, структурирования задач различных групп	Знает способы определения видов и типов профессиональных задач, структурирования задач различных групп.	<i>Незнание базовой терминологии, основных понятий и законов теории квантовых измерений.</i>	<i>Знает базовую терминологию, основные понятия и законы теории квантовых измерений, но при этом допущены 1-2 существенные ошибки.</i>	<i>Знает базовую терминологию, основные понятия и законы теории квантовых измерений, но допущены 2-3 несущественные ошибки.</i>	<i>Знает базовую терминологию, основные понятия и законы теории квантовых измерений.</i>
	Умеет структурировать задачи различных групп.	<i>Не может применять основные методы теории квантовых измерений для описания физических явлений.</i>	<i>Умеет применять основные методы теории квантовых измерений для описания физических явлений, но при этом допущены 1-2 существенные ошибки.</i>	<i>Умеет применять основные методы теории квантовых измерений для описания физических явлений, но допущены 2-3 несущественные ошибки.</i>	<i>Умеет применять основные методы теории квантовых измерений для описания физических явлений.</i>

	Владеет навыками анализа способов определения видов и типов профессиональных задач, структурирования задач различных групп	<i>Не владеет навыками применения фундаментальных законов теории квантовых измерений при исследовании различных физических явлений.</i>	<i>Владеет навыками применения фундаментальных законов теории квантовых измерений при исследовании различных физических явлений, но при этом допущены 1-2 существенные ошибки.</i>	<i>Владеет навыками применения фундаментальных законов теории квантовых измерений при исследовании различных физических явлений, но допущены 2-3 несущественные ошибки.</i>	<i>Владеет навыками применения фундаментальных законов теории квантовых измерений при исследовании различных физических явлений.</i>
ПК -2.2 Планирует отдельные стадии исследования при наличии общего плана НИР, готовит элементы документации, проекты планов и программ отдельных этапов НИР	Знает требования отдельных стадий исследования при наличии общего плана НИР	<i>Незнание базовой терминологии, основных понятий и законов теории квантовых измерений.</i>	<i>Знает базовую терминологию, основные понятия и законы теории квантовых измерений, но при этом допущены 1-2 существенные ошибки.</i>	<i>Знает базовую терминологию, основные понятия и законы теории квантовых измерений, но допущены 2-3 несущественные ошибки.</i>	<i>Знает базовую терминологию, основные понятия и законы теории квантовых измерений.</i>
	Умеет составлять и оформлять научно-технические отчеты, готовить публикации по результатам выполненных исследований с учетом существующих требований	<i>Не может применять основные методы теории квантовых измерений для описания физических явлений.</i>	<i>Умеет применять основные методы теории квантовых измерений для описания физических явлений, но при этом допущены 1-2 существенные ошибки.</i>	<i>Умеет применять основные методы теории квантовых измерений для описания физических явлений, но допущены 2-3 несущественные ошибки.</i>	<i>Умеет применять основные методы теории квантовых измерений для описания физических явлений.</i>
	Владеет навыками планирования отдельных стадий исследования, готовит элементы документации при подготовке научно-технических отчетов, публикаций по результатам выполненных исследований в соответствии с предъявляемыми требованиями	<i>Не владеет навыками применения фундаментальных законов теории квантовых измерений при исследовании различных физических явлений.</i>	<i>Владеет навыками применения фундаментальных законов теории квантовых измерений при исследовании различных физических явлений, но при этом</i>	<i>Владеет навыками применения фундаментальных законов теории квантовых измерений при исследовании различных физических явлений, но допущены</i>	<i>Владеет навыками применения фундаментальных законов теории квантовых измерений при исследовании различных физических явлений.</i>



			допущены 1-2 существенные ошибки.	2-3 несущественные ошибки.	
ПК-3.1 Применяет современные информационные технологии и программные средства при решении научно-исследовательских задач	Знает возможности применения современных информационных технологий и программных средств при решении научно-исследовательских задач	<i>Незнание базовой терминологии, основных понятий и законов теории квантовых измерений.</i>	<i>Знает базовую терминологию, основные понятия и законы теории квантовых измерений, но при этом допущены 1-2 существенные ошибки.</i>	<i>Знает базовую терминологию, основные понятия и законы теории квантовых измерений, но допущены 2-3 несущественные ошибки.</i>	<i>Знает базовую терминологию, основные понятия и законы теории квантовых измерений.</i>
	Умеет осуществлять подготовку программных средств при решении научно-исследовательских задач	<i>Не может применять основные методы теории квантовых измерений для описания физических явлений.</i>	<i>Умеет применять основные методы теории квантовых измерений для описания физических явлений, но при этом допущены 1-2 существенные ошибки.</i>	<i>Умеет применять основные методы теории квантовых измерений для описания физических явлений, но допущены 2-3 несущественные ошибки.</i>	<i>Умеет применять основные методы теории квантовых измерений для описания физических явлений.</i>
	Владеет навыками использования современных информационных технологий и программных средств при решении научно-исследовательских задач	<i>Не владеет навыками применения фундаментальных законов теории квантовых измерений при исследовании различных физических явлений.</i>	<i>Владеет навыками применения фундаментальных законов теории квантовых измерений при исследовании различных физических явлений, но при этом допущены 1-2 существенные ошибки.</i>	<i>Владеет навыками применения фундаментальных законов теории квантовых измерений при исследовании различных физических явлений, но допущены 2-3 несущественные ошибки.</i>	<i>Владеет навыками применения фундаментальных законов теории квантовых измерений при исследовании различных физических явлений.</i>

### Вопросы к зачёту

1. Случайные величины. Определение случайных величин. Преобразование случайных величин. Математические ожидания и характеристическая функция.
2. Стохастические процессы. Марковские процессы. Уравнение Чепмена-Колмогорова.
3. Детерминированные процессы и уравнение Лиувилля. Диффузионные процессы и уравнение Фоккера-Планка.
4. Классические и квантовые состояния. Вероятностная природа квантовых состояний. Онтологический статус квантовых состояний.
5. Принцип суперпозиции. Интерпретация суперпозиций. Экспериментальная проверка суперпозиций.
6. Квантовая запутанность. Квантовые и классические корреляции. Количественная оценка запутанности и различимости.
7. Уравнение Шредингера и гамильтониан. Гамильтониан в представлении Гайзенберга.
8. Уравнение Гайзенберга. Скобка Пуассона и коммутатор.
9. Чистые и смешанные состояния в теоретической механике. Представления Гамильтона и Лиувилля в теоретической механике. Уравнения в представлении взаимодействия.
10. Дуализм волна-частица. Поведение микрочастицы. Флуктуации и необратимость.
11. Радиоактивный распад. Броуновское движение квантовой частицы. Микромир и макромир.
12. Квантовомеханическая матриц плотности. Матрицы плотности в чистом состоянии. Матрицы плотности смешанного состояния. Количественная оценка степени “смешанности”. Матрица плотности для подсистемы.
- 13.. Мезомир. Коллапсы волновых функций. Классический молекулярный хаос. Необратимость классическая и квантовая.

14. Теория квантового измерения. Идеальные квантовые измерения. Схема фон Неймана для идеального квантового измерения. Проекторы фон Неймана и их обобщения.

15. Реализация проективных измерений. Квантовый ластик. Операции и эффекты. Теорема представления для квантовых операций.

16. Квантовое измерение и энтропия. Приблизительные измерения. Непрямые квантовые измерения. Квантовые неразрушающие измерения.

17. Непрерывные измерения: общая идея. Проективные непрерывные измерения. Квантовый эффект Зенона. Экспериментальная проверка.

18. Нечеткое (мягкое) непрерывное измерение. Модель квантовой диффузии. Модель измерения. Неразрушающие измерения.

19. Повторные измерения как модель декогеренции. Измерение и декогеренция. Проблема предпочтительного базиса.

20. Декогеренция. Мышь Эйнштейна. Кот Шредингера. Друг Вигнера.

21. Парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена (ЭПР). Неравенства Белла.

22. Интерпретации квантовой механики. Статистические интерпретации. Копенгагенская интерпретация. Квантовые теории со скрытыми параметрами.

23. Принцип дополнительности Бора. Многомировая интерпретация Эверетта. Сознание и квантовая теория.

24. Квантовая криптография и телепортация. Квантовые вычисления.