

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы физики  
и исследований им. Ландау**

**А.В. Рогачев**

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

<b>по дисциплине:</b>	Дополнительные главы квантовой физики и квантовой информатики
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау Физтех-кластер академической и научной карьеры
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составили:

С.Н. Филиппов, канд. физ.-мат. наук, доцент

Г.Б. Лесовик, д-р физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

Ю.М. Белоусов, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании Физтех-кластера академической и научной карьеры 17.04.2023

## Аннотация

В семестровом курсе Дополнительные главы квантовой физики и квантовой информатики рассматривается материал, который не вошел в соответствующие дисциплины бакалаврского уровня образования. Предлагаемый курс предназначен для восполнения знаний по разделам, требующим более высокого уровня освоения, для понимания которых требует знания материала на базовом уровне. Предлагаемый материал позволяет получить достаточно полное понимание различных проблем квантовых технологий, методов для их решения и взаимосвязь различных разделов и направлений исследований.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- формирование у студентов навыков применения методов квантовой физики и квантовой информации для постановки и решения экспериментальных и теоретических задач.

#### Задачи дисциплины

- формирование знаний и умений, необходимых для успешного представления результатов научной деятельности в области физики квантовых технологий и квантовых вычислений и теоретических исследований по современным актуальным проблемам;
- формирование навыков ведения научной дискуссии.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-4 Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	УК-4.1 Способен вести обмен деловой информацией в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и не менее чем на одном иностранном языке
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений

ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- основные методы построения научного доклада.

уметь:

- сделать доклад по своей работе или по работе, описанной в журнальной статье;
- ответить на вопросы по своему докладу;
- вести/модерировать научную дискуссию.

владеть:

- аппаратом квантовой механики и статистической физики, экспериментальными методами квантовых измерений, методами квантовых технологий.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Дополнительные главы квантовой механики		5		10
2	Дополнительные главы квантовой информатики		5		10
3	Дополнительные главы квантовой криптографии		5		10
4	Теория квантовых измерений		5		10
5	Новейшие результаты физики квантовых технологий		5		10
6	Доклады о состоянии выполнения магистерской работы		5		10
Итого часов			30		60
Подготовка к экзамену		0 час.			

Общая трудоёмкость	90 час., 2 зач.ед.
--------------------	--------------------

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 1 (Осенний)

##### 1. Дополнительные главы квантовой механики

Рассматриваются главы релятивистской квантовой механики, включая элементы квантовой электродинамики и теории электрослабых взаимодействий.

##### 2. Дополнительные главы квантовой информатики

Рассматриваются специальные вопросы описания квантовых каналов.

##### 3. Дополнительные главы квантовой криптографии

Рассматриваются вопросы реализации различных протоколов на существующих устройствах.

##### 4. Теория квантовых измерений

Рассматривается описание эволюции квантовых систем, обладающих дискретным спектром, в том числе подходы к введению неунитарной эволюции с неэрмитовым гамильтонианом. Рассматривается проблема обратимости описания квантовых систем/ Рассматривается решение проблемы квантовых неразрушающих измерений. Излагается общая теория квантовых измерений. Реализация теоретических результатов на сверхпроводящих, твердотельных, оптических и спиновых системах.

##### 5. Новейшие результаты физики квантовых технологий

Проводится обзор новейших результатов, полученных в различных направлениях квантовых технологий. Обзор проводится в виде докладов студентов по научным публикациям, связанным с темами магистерских работ.

##### 6. Доклады о состоянии выполнения магистерской работы

Доклады студентов по результатам, полученным в ходе выполнения магистерских работ. Доклад выполняется в форме доклада научной конференции.

#### 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Мультимедийное оборудование (проектор, экран), доска, мел или маркеры.

#### 6. Перечень рекомендуемой литературы

##### Основная литература

1. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 3 : Квантовая механика. Нерелятивистская теория : учеб. пособие для вузов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского .— 5-е изд., стереотип. — М. : Физматлит, 2004, 2002 .— 808 с.
2. Квантовая электродинамика [Текст] : учеб. пособие для студентов физ. спец. ун-тов / В. Б. Берестецкий, Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский .— 4-е изд., испр. — М. : Физматлит, 1989, 2001, 2002, 2006 .— 720 с.
3. Квантовые системы, каналы, информация [Текст], монография/А. С. Холево, -М., МЦНМО, 2010

3. Нильсен М., Чанг И. Квантовые вычисления и квантовая информация. □ М. : Мир, 2009.

#### Дополнительная литература

1. Классические и квантовые вычисления [Текст]/А. Китаев, А. Шень, М. Вялый, -М, МЦНМО-ЧеРо, 1999
2. Квантовая теория поля [Текст]. В 2 т. Т. 1/С. Вайнберг, -М., Физматлит, 2003
3. Квантовая теория поля [Текст]. В 2 т. Т. 2/С. Вайнберг, -М., Физматлит, 2003

#### **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

1. Научные публикации в ресурсе ArXiv
2. Сайты журналов Open access.

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

- Мультимедийное оборудование для демонстрации презентаций, посвященных наиболее сложным для воспроизведения на доске темам.

Необходимое программное обеспечение: MS Office, включая MS Word, MS PowerPoint, MS Equation, MS Visio.

#### **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Программа курса предусматривает самостоятельное ознакомление студентов со статьями в ведущих научных журналах по квантовой оптике, квантовым вычислениям и криптографии.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау Физтех-кластер академической и научной карьеры (Фундаментальные проблемы физики квантовых технологий)
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

#### Разработчики:

С.Н. Филиппов, канд. физ.-мат. наук, доцент

Г.Б. Лесовик, д-р физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

Ю.М. Белоусов, д-р физ.-мат. наук, профессор

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-4 Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	УК-4.1 Способен вести обмен деловой информацией в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и не менее чем на одном иностранном языке
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Дополнительные главы квантовой физики и квантовой информатики» обучающийся должен:

**знать:**

- основные методы построения научного доклада.

**уметь:**

- сделать доклад по своей работе или по работе, описанной в журнальной статье;
- ответить на вопросы по своему докладу;
- вести/модерировать научную дискуссию.

**владеть:**

- аппаратом квантовой механики и статистической физики, экспериментальными методами квантовых измерений, методами квантовых технологий.

**3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю**

В данном курсе текущий контроль направлен прежде всего на успешное выполнение магистерской работы, что предусмотрено в виде заслушивания докладов студентов.

**4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

Примеры контрольных вопросов и заданий:

1. По материалам нерелятивистской квантовой механики. Используя формализм матрицы плотности определить степень запутанности состояния двухкубитной системы.
2. По материалам квантовой электродинамики. Определить время жизни возбужденного состояния водородоподобной примеси внедрения в кристалле с кубической симметрией.
3. По квантовой теории информации. Найти представление Стайнспринга для квантового канала Ландау-Стритера.
4. Описать эволюцию квантовых систем, обладающих дискретным спектром.
5. Изложить общую теорию квантовых измерений.
6. Перечислить подходы к введению неунитарной эволюции с неэрмитовым гамильтонианом.
7. Описать проблему обратимости описания квантовых систем.
8. Описать решение проблемы квантовых неразрушающих измерений.
9. Изложить общую теорию квантовых измерений.
10. Описать реализацию теоретических результатов на сверхпроводящих, твердотельных, оптических и спиновых системах.

**Критерии оценивания**

- оценка "отлично (10)" выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений;
- оценка "отлично (9)" выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений;
- оценка "отлично (8)" выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение применять их на практике при решении конкретных задач, и правильное обоснование принятых решений;
- оценка "хорошо (7)" выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применить полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;
- оценка "хорошо (6)" выставляется студенту, если он знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применить полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;
- оценка "хорошо (5)" выставляется студенту, если он знает материал, по существу излагает его, умеет применить полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;



- оценка "удовлетворительно (4)" выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировка базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом владеющему основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и способному применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;
- оценка "удовлетворительно (3)" выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировка базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом владеющему фрагментарно основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и способному применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;
- оценка "неудовлетворительно (2)" выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач;
- оценка "неудовлетворительно (1)" выставляется студенту, который не знает формулировок основных понятий дисциплины.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Дифференцированный зачет проводится в форме защиты решения выбранной задачи и отчета по результатам выполнения дипломной работы. Опрос обучающегося на дифференцированном зачете не должен превышать двух астрономических часов.