

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

УТВЕРЖДЕНО

**и.о. директора физтех-школы
физики и исследований им.
Ландау**

А.А. Воронов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Некоторые вопросы теоретической физики
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра проблем физики и астрофизики
курс:	3
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

5 (осенний) - Дифференцированный зачет

6 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 60 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: А.Г. Семенов, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры проблем физики и астрофизики 25.05.2020

Аннотация

Курс посвящён получению фундаментальных знаний в области теоретической физики и освоению общих методов теоретического описания классических и квантовых свойств различных физических систем. Изучаться будут как физические методы, такие как теория возмущений и квазиклассика, так и математические (асимптотические методы и др.). Все общие методы будут изучаться в контексте нескольких конкретных физических задач из различных областей физики.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Освоение студентами фундаментальных знаний в области теоретической физики, изучение способов теоретического описания классических и квантовых свойств различных физических систем, а также получение навыков применения данных знаний на практике. Курс предполагает изучение нескольких задач из различных областей физики.

Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний в области теоретической физики, которые впоследствии позволят студентам проводить исследования в таких областях современной физики как физика конденсированного состояния вещества, физика фундаментальных взаимодействий, теоретическая астрофизика;
- обучение студентов методам теоретической физики на примерах модельных задач (частица на кольце и др.) и реальных физических явлений (эффект Ааронова-Бома, квантовый парадокс Зенона и др.);
- формирование подходов к выполнению исследований студентами в области теоретической физики и астрофизики в рамках выпускных работ на степень бакалавра.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
УК-3 Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде	УК-3.2 Взаимодействует с другими членами команды для достижения поставленной задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.2 Знает основные источники научно-технической и (или) технологической информации в области профессиональной деятельности

ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	ОПК-5.1 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований и разработок
	ОПК-5.2 Обладает способностью к освоению новых знаний на основе изучения литературы, научных статей и других источников
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин
	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины
	ПК-2.3 Способен представлять научные утверждения, их обоснования и доказательства, научные проблемы и их решения ясно и точно в терминах, понятных для профессиональной аудитории, в письменной и устной форме
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
- современные проблемы физики, математики;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике;
- современные подходы к теоретическому описанию физических явлений;
- принципы симметрии и законы сохранения;
- новейшие открытия естествознания;
- о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

уметь:

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- производить теоретическое описание различных физических явлений.

владеть:

- современными методами теоретической физики;
- научной картиной мира;
- навыками самостоятельного теоретического анализа физических явлений.

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

		Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.
--	--	---

№	Тема (раздел) дисциплины	Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Основания квантовой теории		4		2
2	Функциональный интеграл в квантовой механике		12		6
3	Основания квантовой статистической физики		4		2
4	Функциональный интеграл в статистической физике		10		5
5	Частица на кольце		6		3
6	Топологические решения в теории поля и физике конденсированного состояния		14		7
7	Открытые квантовые системы		10		5
Итого часов			60		30
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 5 (Осенний)

1. Основания квантовой теории

- 1) Лагранжев формализм в классической физике. Гамильтонов формализм в классической физике. Классическое пространство состояний. Гамильтонов формализм в квантовой физике. Квантовое пространство состояний. Квантовые наблюдаемые. Соответствие между классической и квантовой теориями.
- 2) Различные базисы в квантовой механике. Вычисление матричных элементов наблюдаемых. Эволюция в квантовой механике. Оператор эволюции. Т-упорядоченная экспонента.

2. Функциональный интеграл в квантовой механике

- 1) Построение функционального интеграла исходя из операторного формализма. Дискретная форма и непрерывный предел.
- 2) Получение функционального интеграла с действием в лагранжевой форме. Связь с классической теорией. Источники. Т-упорядоченные корреляторы как результат вычисления с помощью функционального интеграла.
- 3) Решение задачи о свободной частице. Квазиклассический метод вычисления функционального интеграла. Роль экспоненты как лидирующего вклада и возникновение функционального детерминанта.
- 4) Функциональные детерминанты и теорема Гельфанда-Яглома. Общий ответ для амплитуды перехода в квазиклассическом приближении.
- 5) Точное решение задачи о гармоническом осцилляторе. Теория возмущений на языке функционального интеграла. Ангармонические поправки.
- 6) Квазиклассическая плотность состояний в квантовой механике.

3. Основания квантовой статистической физики

- 1) Чистые и смешанные состояния. Состояния сложной системы и подсистемы. Тензорное произведение. Матрица плотности. Матрица плотности подсистемы. Эволюция матрицы плотности. Измерение. Квантовый парадокс Зенона.

2) Распределение Гиббса. Мацубаровские корреляторы и их свойства. Аналитическое продолжение.

4. Функциональный интеграл в статистической физике

- 1) Функциональный интеграл во мнимом времени. Евклидово действие. Источники и мацубаровские средние.
- 2) Точное решение для гармонического осциллятора. Теория возмущения и ангармонические поправки.
- 3) Задача о расщеплении основного состояния в двухъямном потенциале. Постановка задачи и квазиклассический подход к её решению. Инстантон.
- 4) Двухъямный потенциал, часть 2. Действие инстантона. Интегрирование по нулевой моде.
- 5) Двухъямный потенциал, часть 3. Вычисление редуцированного функционального определителя и предэкспоненциального множителя. Получение и анализ окончательного ответа.

Семестр: 6 (Весенний)

5. Частица на кольце

Основания квантовой электродинамики. Лагранжиан частицы в электромагнитном поле. Гамильтониан частицы в электромагнитном поле. Импульс частицы в поле. Оператор тока. Калибровочная инвариантность квантовой теории.

Решение задачи о частице на кольце в операторном формализме. Собственные состояния. Статсумма. Средние значения от наблюдаемых. Статистика тока.

Решение с помощью функционального интеграла. Интегрирование по компактной переменной. Число намоток. Топологический характер взаимодействия с ЭМП в задаче. Преобразование Пуассона и согласование ответов, полученных в обоих подходах.

6. Топологические решения в теории поля и физике конденсированного состояния

Классические солитоны и уединённые волны. Топологические индексы. Солитоны в модели Синус-Гордона.

Многомерные решения. Теорема вириала. Топологические сектора и гомотопический класс полевой конфигурации. Нелинейная О (3)-модель: изотропный ферромагнетик

Гомотопическое рассмотрение систем конденсированных сред. Вихри Абрикосова в сверхпроводниках. Взаимодействие вихрей в квазидвумерных сверхпроводниках. Физические следствия наличия вихрей в сверхпроводниках. Сопротивление.

Переход Березинского-Костерлица-Таулесса и его проявления в двумерных сверхпроводниках. Проскальзывания фазы в квазиодномерных сверхпроводниках. Дуальные переменные. БКТ-переход и разрушение сверхпроводимости в квазиодномерном случае.

Квантование статических решений. Общие принципы квазиклассического квантования. Кинк в 1+1 измерениях и его возбуждённые состояния.

Топологические решения в калибровочных теориях. Монополь тХоофта-Полякова.

7. Открытые квантовые системы

Открытые квантовые системы. Баян. Уравнение для редуцированной матрицы плотности системы в присутствии бани.

Уравнение Линдблада. Супероператор Линдблада. Основные свойства уравнения Линдблада. Получение уравнений на наблюдаемые. Стационарное решение уравнения Линдблада для осциллятора, взаимодействующего с равновесной баней.

Различные представления квантовых операторов. Функция Вигнера. Эволюция функции Вигнера. Классическая аналогия. Квантовые поправки к динамике.

Квантовая оптика. Атом в переменном поле. Построение эффективной модели в приближении вращающейся волны.

Резонансная флуоресценция. Спектр вынужденного излучения.

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

Учебная аудитория, оснащенная доской, а также мультимедиапроектором и экраном.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Классическая электродинамика [Текст] = Classical Electrodynamics/Д. Джексон, -М., Мир, 1965
2. Солитоны и инстантоны в квантовой теории поля [Текст] = Solitons and instantons/Р. Раджараман, -М., Мир, 1985
3. Condensed Matter Field Theory, second edition/ Altland A., Simons B., Cambridge University Press, 2010
4. Field theory of non-equilibrium systems/ Kamenev A., Cambridge University Press, 2011.

Дополнительная литература

Континуальный интеграл в квантовой механике [Текст] = Path integrals in quantum mechanics/Ж. Зинн-Жюстен, -М., Физматлит, 2006

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

1. Сайт препринтов <https://www.arxiv.org>
2. Справочник по математике <http://mathworld.wolfram.com/>
3. Сайт журнала "Успехи Физических наук" <http://www.ufn.ru>

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

На занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций. В процессе самостоятельной работы обучающихся возможно использование таких программных средств, как Maxima, Octave и др.

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 результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра проблем физики и астрофизики
курс:	3
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 5 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 6 (весенний) - Дифференцированный зачет

Разработчик: А.Г. Семенов, канд. физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
УК-3 Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде	УК-3.2 Взаимодействует с другими членами команды для достижения поставленной задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.2 Знает основные источники научно-технической и (или) технологической информации в области профессиональной деятельности
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	ОПК-5.1 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований и разработок
	ОПК-5.2 Обладает способностью к освоению новых знаний на основе изучения литературы, научных статей и других источников
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин
	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины
	ПК-2.3 Способен представлять научные утверждения, их обоснования и доказательства, научные проблемы и их решения ясно и точно в терминах, понятных для профессиональной аудитории, в письменной и устной форме

ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей
--	---

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Некоторые вопросы теоретической физики» обучающийся должен:

знать:

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
- современные проблемы физики, математики;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике;
- современные подходы к теоретическому описанию физических явлений;
- принципы симметрии и законы сохранения;
- новейшие открытия естествознания;
- о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

уметь:

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- производить теоретическое описание различных физических явлений.

владеть:

- современными методами теоретической физики;
- научной картиной мира;
- навыками самостоятельного теоретического анализа физических явлений.

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

Не предусмотрено.

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

Перечень контрольных вопросов:

1. Как вычислить среднее значение оператора с помощью функционального интеграла? Что на операторном уровне соответствует корреляционным функциям, полученным с помощью функционального интеграла?
2. Сформулируйте теорему Гельфанда-Яглома для произвольных линейных граничных условий.
3. Что такое инстантон в задаче о двухъямном потенциале? Какова нулевая мода этой задачи?
4. Условия существования инстантона в $O(n)$ -модели.
5. Три канала расщепления взаимодействия по Хаббарду-Стратановичу. Как работать с задачами, в которых имеются конкурирующие параметры порядка?

Примеры контрольных заданий:

1. Вычислить явно координатный матричный элемент матрицы плотности гармонического осциллятора.
2. Найти отношение статсумм гармонического осциллятора и частицы на прямой, воспользовавшись их связью с детерминантами соответствующих операторов Штурма-Лиувилля и выразив его через отношение их собственных значений.
3. Найти функцию Вигнера первого возбуждённого состояния гармонического осциллятора. Убедиться, что, в отличие от обычной функции распределения, функция Вигнера может принимать отрицательные значения. Почему такая ситуация недопустима для классической функции распределения?
4. Вычислить температуру БКТ-перехода в двумерном сверхпроводнике, используя табличные параметры алюминия.

5. Пользуясь выражением для поляризационного оператора неупорядоченного электронного газа, найти спектр плазмона для квазидвумерного и квазиодномерного случая.

Критерии оценивания

Оценка "отлично" (10 баллов) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка "отлично" (9 баллов) 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" (8 баллов) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочётами.

Оценка "хорошо" (7 баллов) выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка "хорошо" (6 баллов) выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка "хорошо" (5 баллов) выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка "удовлетворительно" (4 балла) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка "удовлетворительно" (3 балла) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка "неудовлетворительно" (2 балла) выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка "неудовлетворительно" (1 балл) выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

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

При проведении устного дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном дифференцированном зачете не должен превышать одного астрономического часа.