

**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**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Проблемы современной физики
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра проблем физики и астрофизики
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Зачет
- 2 (весенний) - Зачет

Аудиторных часов: 120 всего, в том числе:

- лекции: 0 час.
- семинары: 120 час.
- лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Всего часов: 180, всего зач. ед.: 4

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

Программа обсуждена на заседании кафедры проблем физики и астрофизики 04.06.2020

## Аннотация

Дисциплина призвана помочь магистрантам овладеть навыками и знаниями, необходимыми для выполнения научно-исследовательской работы, включая выполнение магистерской диссертации.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

освоение студентами фундаментальных знаний в области современной физики, изучение современных квантовополевых методов и методов математической физики, имеющих приложения в области физики фундаментальных взаимодействий.

#### Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний в области проблем современной физики как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности;
- обучение студентов современным теоретическим подходам в описании физики фундаментальных взаимодействий;
- формирование подходов к выполнению исследований студентами в области современной физики 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-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.1 Умеет решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности
	УК-6.2 Оценивает свою деятельность, соотносит цели, способы и средства выполнения деятельности с её результатами
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-2.3 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-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования

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-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

### 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, химии, математики;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;
- принципы симметрии и законы сохранения;
- 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;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций.

владеть:

- основными математическими, теоретическими и экспериментальными физическими методами исследований на профессиональном уровне, достаточном для дальнейшей специализации и профилизации;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
- математическим моделированием физических задач.

### 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	Связь между КТП и статистической физикой.		10		5
2	Физика в мире одного пространственного измерения.		10		5
3	Релевантные и иррелевантные поля.		10		5
4	Ренормгруппа и переход Березинского-Костерлица-Таулеса.		10		5
5	Конформная симметрия. Алгебра Вирасоро, представления старшего веса.		10		5
6	Одномерные бесспиновые фермионы. Бозонизация и жидкость Латтинжера. Модель Тирринга.		10		5

7	Одномерные фермионы со спином.		12		6
8	Уравнения на корреляционные функции.		12		6
9	Модель WZNW.		12		6
10	Ads/CFT соответствие на примере модели SYK.		12		6
11	Модель SYK как квантовая механика с Лиувилевским потенциалом.		12		6
Итого часов			120		60
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		180 час., 4 зач.ед.			

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

##### Семестр: 1 (Осенний)

###### 1. Связь между КТП и статистической физикой.

Континуальный интеграл. Определение корреляционных функций. Теорема Вика.

###### 2. Физика в мире одного пространственного измерения.

Теория свободного скалярного безмассового бозонного поля. Масштабная инвариантность.

###### 3. Релевантные и иррелевантные поля.

Теорема о релевантном возмущении. Модель  $\sin$ -Гордон.

###### 4. Ренормгруппа и переход Березинского-Костерлица-Таулеса.

Вихри в  $O(2)$ -модели и кулоновский газ. Запись через нелокальное поле и эквивалентность модели  $\sin$ -Гордон. Масштабная размерность возмущающего оператора и точное значение точки перехода. Перенормировка констант связи в модели синус-Гордона во втором порядке по теории возмущений. Ренормгруппа и ренормгрупповые потоки.

###### 5. Конформная симметрия. Алгебра Вирасоро, представления старшего веса.

Алгебра Вирасоро, представления старшего веса.

###### 6. Одномерные бесспиновые фермионы. Бозонизация и жидкость Латтинжера. Модель Тирринга.

Бозонизация и жидкость Латтинжера. Модель Тирринга.

##### Семестр: 2 (Весенний)

###### 7. Одномерные фермионы со спином.

Разделение спина и заряда. АФ взаимодействие в спиновом канале,  $g > 0$ .

###### 8. Уравнения на корреляционные функции.

Конструкция кулоновского газа для минимальных моделей.

## 9. Модель WZNW.

Уравнения Книжника-Замолодчикова. Алгебра Каца-Мули.

## 10. Ads/CFT соответствие на примере модели SYK.

Модель SYK. Случайные матрицы. Майорановские фермионы. Преобразование Хаббарда-Стратоновича и переход к медленным переменным. Эффективное действие в модели SYK. Уравнения Швингера-Дайсона. Решение уравнений ШД в конформном пределе. Интегрирование по мягким модам. Гравитация в 1+1.

## 11. Модель SYK как квантовая механика с Лиувилевским потенциалом.

Мера Хаара в интегралах по траекториям. Выбор плоской меры в модели SYK. Вычисление якобиана и локализация эффективного действия.

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

Стандартная учебная аудитория, компьютер, интернет-соединение.

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Введение в квантовую теорию поля [Текст] : [учебник для вузов] / М. Пескин, Д. Шредер ; пер. с англ. под ред. А.А. Белавина, А. В. Беркова .— М. ; Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, 2001 .— 784 с.
2. Квантовая теория поля в физике конденсированного состояния [Текст]/А. М. Цвелик , -М., Физматлит, 2004
3. Michael Stone, The physics of quantum fields, Springer 2000.
4. A. O. Gogolin, A. A. Nersisyan, A. M. Tsvelik, Bosonization and strongly correlated systems, Cambridge University Press 1998.

### Дополнительная литература

1. Eduardo Fradkin. Field theories of condensed matter systems. 1991.

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

Не используются

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

База электронных препринтов arXiv.org.

## 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)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра проблем физики и астрофизики
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Зачет
- 2 (весенний) - Зачет

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

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.1 Умеет решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности
	УК-6.2 Оценивает свою деятельность, соотносит цели, способы и средства выполнения деятельности с её результатами
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-2.3 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-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
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-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Проблемы современной физики» обучающийся должен:

### знать:

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
- современные проблемы физики, химии, математики;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;
- принципы симметрии и законы сохранения;
- 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;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций.

**владеть:**

- основными математическими, теоретическими и экспериментальными физическими методами исследований на профессиональном уровне, достаточном для дальнейшей специализации и профилизации;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
- математическим моделированием физических задач.

**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. Определение корреляционных функций. Теорема Вика.
2. Теория свободного скалярного безмассового бозонного поля.
3. Бозонизация и жидкость Латтинжера.
4. Уравнения Книжника-Замолодчикова.
5. Модель SYK.

Примеры контрольных заданий:

1. Рассмотрим систему одномерных акустических фононов. Данная система может быть представлена как система гармонических осцилляторов с частотами  $\omega(q) = c|q|$ , где  $q$  – волновой вектор фонона. Функция Грина в таком случае зависит не только от времени, но также от пространственных координат  $y$ . Вычислить корреляционную функцию скоростей в данном случае.
2. Предположим, что поле  $\phi(x)$  с действием  $S_{\{0\}}[\phi]$  определено на окружности радиуса  $R$  ( $\phi \sim \phi + 2\pi R$ ) и живет на пространственной окружности ( $x_1 \sim x_1 + 2\pi$ ) с периодическими граничными условиями. Покажите, что теория эквивалентна теории поля  $\tilde{\phi}(x)$ , определенного на окружности радиуса  $2/R$  (Т-дуальность). Для решения задачи можно использовать разложение по модам в гамильтоновом формализме. При этом следует учесть, что при обходе по пространственному циклу поле может измениться на целое число периодов эквивалентности  $2\pi R$  (число намотки). При преобразовании дуальности число намотки и квантовое число импульса меняются местами.
3. Докажите, что в безмассовой модели Тирринга ток сохраняется.
4. В теории свободного бозонного поля покажите, что тензор энергии-импульса имеет только две ненулевые компоненты.
5. Найти решения уравнений Швингера-Дайсона в модели SYK, в инфракрасном пределе.

**Критерии оценивания**

Оценка "зачтено" выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике.

Оценка "не зачтено" выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний либо не знающему большей части основного содержания учебной программы дисциплины, 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.

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

При проведении зачёта обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на зачёте не должен превышать одного астрономического часа.