

**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**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Методы теории одномерных квантовых систем
<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 теоретической физики
<b>курс:</b>	2
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 45 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Количество контрольных работ, заданий: 2

Программу составил: М.Ю. Лашкевич, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры проблем теоретической физики 01.04.2024

## Аннотация

Курс лекций посвящен точным и непертурбативным результатам в квантовомеханических и квантовополевых задачах с одним пространственным измерением. Излагаются простейшие инстантонные методы, метод  $1/N$ -разложения, анзац Бете и точные  $S$ -матрицы. В качестве примеров используются  $O(N)$ -симметричные сигма-модели, модели Тирринга и синус-Гордона, цепочки Гайзенберга, модели льда, а также точное решение задачи Кондо. Содержание курса рассчитано на студентов-теоретиков, хорошо знакомых с квантовой механикой и квантовой теорией поля.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

изложение точных и непертурбативных результатов в квантовомеханических и квантовополевых задачах с одним пространственным измерением.

### Задачи дисциплины

- познакомить студентов с основными понятиями и идеями в этой области, с постановкой задач и подходами к их решениям. Предполагается, что прослушав этот курс, студенты смогут читать и понимать текущую научную периодику в этой области.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации	УК-2.4 Представляет публично результаты проекта (или отдельных его этапов) в форме отчетов, статей, выступлений на научно-практических конференциях, семинарах и т.п.
УК-4 Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	УК-4.2 Владеет навыками, необходимыми для написания, письменного перевода и редактирования различных академических текстов (рефератов, эссе, обзоров, статей и т.д.)
	УК-4.3 Способен представлять результаты академической и профессиональной деятельности на различных научных мероприятиях, включая международные
	УК-4.4 Способен использовать современные средства информационно-коммуникационных технологий для академического и профессионального взаимодействия
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	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-2.1 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-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	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-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
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-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
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
	ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях

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:

- основные понятия по теме дисциплины.

уметь:

- пользоваться развитыми в рамках дисциплины методами исследования, решать задачи по теме дисциплины.

владеть:

- математическим и понятийным аппаратом и методами исследований, составляющими содержание дисциплины.

### 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	О(2)-модель и переход Костерлица-Таулеса. Бозонизация модели Тирринга. Ренормгруппа для перехода Костерлица--Таулеса. О(N)-модель: 1/N-разложение.	5	15		15
2	О(N)-модель: интегрируемость и точная S-матрица. Модель Тирринга: решение методом анзатца Бете. Спиновая цепочка Гайзенберга и ее скейлинговый предел. Уравнение Янга-Бакстера и анзатц Бете.	5	15		15
3	Алгебраический анзатц Бете. Решение уравнений Бете. Задача Кондо: вывод анзатца Бете. Задача Кондо: решение уравнений Бете.	5	15		15
Итого часов		15	45		45
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

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

Семестр: 3 (Осенний)

1. О(2)-модель и переход Костерлица-Таулеса. Бозонизация модели Тирринга. Ренормгруппа для перехода Костерлица--Таулеса. О(N)-модель: 1/N-разложение.

O(2)-модель и переход Костерлица–Таулеса.

- Вихри в O(2)-модели и кулоновский газ.
- Запись через нелокальное поле и эквивалентность модели sin-Гордон.
- Переход плазма–газ.
- Масштабная размерность возмущающего оператора и точное значение точки перехода.

Бозонизация модели Тирринга.

- Представление фермионов через бозонные поля (бозонизация).
- Сокращение расходящихся частей в лагранжиане и точная связь между константами связи.

O(3)-модель: генерация массы инстантонами.

- Топологические свойства O(3)-модели, топологически нетривиальные решения в евклидовой плоскости.
- Качественное описание генерации массы инстантонами.

O(N)-модель:  $1/N$ -разложение.

- Теория возмущений по  $1/N$  для O(N)-модели.
- Генерация массы.
- Кинематические условия рассеяния и вычисление S-матрицы по теории возмущений.

2. O(N)-модель: интегрируемость и точная S-матрица. Модель Тирринга: решение методом анзатца Бете. Спиновая цепочка Гайзенберга и ее скейлинговый предел. Уравнение Янга–Бакстера и анзатц Бете.

O(N)-модель: интегрируемость и точная S-матрица.

- Высшие интегралы движения и факторизация S-матриц.
- Уравнение Янга–Бакстера.
- Вычисление S-матрицы O(N)-модели из условий факторизации и пертурбативного результата.

Модель Тирринга: решение методом анзатца Бете.

- Псевдовакуум и волновые функции модели Тирринга в анзатце Бете.
- Уравнения Бете и их термодинамический предел.
- Спектр и S-матрица модели.

Спиновая цепочка Гайзенберга и ее скейлинговый предел.

- XYZ-модель.
- Преобразование Йордана–Вигнера и XY-модель.
- Скейлинговый предел и связь с моделью Тирринга/sin-Гордона.

Уравнение Янга–Бакстера и анзатц Бете.

- XXZ-модель и шестивершинная модель.
- Уравнение Янга–Бакстера и коммутирующие трансфер-матрицы.
- Координатный анзатц Бете.

3. Алгебраический анзатц Бете. Решение уравнений Бете. Задача Кондо: вывод анзатца Бете. Задача Кондо: решение уравнений Бете.

Алгебраический анзатц Бете. Решение уравнений Бете.

- Псевдовакуум и собственные состояния в рамках алгебраического анзатца Бете.
- Уравнения Бете и их решение в термодинамическом пределе.
- Вычисление свободной энергии шестивершинной модели.

Задача Кондо: вывод анзатца Бете.

- Эффект Кондо.

- Приведение задачи к одномерной.
- Первичный и вторичный анзац Бете.
- Система уравнений Бете для задачи Кондо.

Задача Кондо: решение уравнений Бете.

- Основное состояние в нулевом магнитном поле.
- Обсуждение вывода формулы для намагниченности для системы во внешнем магнитном поле.
- Краткое обсуждение случая конечной температуры.

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

Учебная аудитория, доска, при необходимости медиапроектор, экран.

## **6. Перечень рекомендуемой литературы**

### Основная литература

1. В.Л. Березинский, «Низкотемпературные свойства двумерных систем с непрерывной группой симметрии», Кандидатская диссертация, 1971 г.
2. W. E. Thirring, Annals Phys. 3 (1958) 91
3. S. Coleman, Phys. Rev. D11 (1975) 2088
4. S. Mandelstam, Phys. Rev. D11 (1975) 3026
5. Al. B. Zamolodchikov, Int. J. Mod. Phys. A10 (1995) 1125

### Дополнительная литература

1. Квантовая теория поля в физике конденсированного состояния [Текст]/А. М. Цвелик, -М., Физматлит, 2004
1. А. А. Белавин, А. М. Поляков, Метастабильные состояния двумерного изотропного ферро-магнетика, Письма в ЖЭТФ 22 (1975) 503–506.
2. V. A. Fateev, I. V. Frolov, A. S. Shvarts, Quantum Fluctuations of Instantons in the Nonlinear Sigma Model, Nucl. Phys. B154 (1979) 1–20.
3. B. Zamolodchikov, Al. B. Zamolodchikov, Annals Phys. 120 (1979) 253.
4. А. М. Поляков, Калибровочные поля и струны, Черногловка, ИТФ им. Л. Д. Ландау, 1995
5. Zamolodchikov and Al. Zamolodchikov, Annals of Physics 120 (1979) 253.

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

chair.itp.ac.ru

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

Представление материала на доске и/или при помощи медиапроектора. Возможно использование ПО для символьных и/или численных вычислений.

## **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 и понятия, 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 текущей и 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 преподавателю.

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

## 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 кафедра проблем теоретической физики (теоргруппа Горькова)
<b>курс:</b>	<u>2</u>
<b>квалификация:</b>	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Экзамен	
<b>Разработчик:</b>	М.Ю. Лашкевич, канд. физ.-мат. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации	УК-2.4 Представляет публично результаты проекта (или отдельных его этапов) в форме отчетов, статей, выступлений на научно-практических конференциях, семинарах и т.п.
УК-4 Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	УК-4.2 Владеет навыками, необходимыми для написания, письменного перевода и редактирования различных академических текстов (рефератов, эссе, обзоров, статей и т.д.)
	УК-4.3 Способен представлять результаты академической и профессиональной деятельности на различных научных мероприятиях, включая международные
	УК-4.4 Способен использовать современные средства информационно-коммуникационных технологий для академического и профессионального взаимодействия
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	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-2.1 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	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)

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-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
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-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
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
	ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях
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 «Методы теории одномерных квантовых систем» обучающийся должен:

### знать:

- основные понятия по теме дисциплины.

### уметь:

- пользоваться развитыми в рамках дисциплины методами исследования, решать задачи по теме дисциплины.

### владеть:

- математическим и понятийным аппаратом и методами исследований, составляющими содержание дисциплины.

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

В качестве курсовых работ студентам предлагается решить набор задач по темам лекционного материала. Полный список задач приводится на сайте кафедры <http://chair.itp.ac.ru/> в конце конспекта по каждой лекции.

Типовые примеры задач:

1. Возьмите пространственные интегралы и получите явную формулу для действия системы вихрей.
2. Покажите, что в модели Тирринга в однопетлевом приближении масса перенормируется следующим образом:  $m^* = m(1 + (g/\pi) \log(L/m))$ , где  $L$  — параметр обрезания по импульсам.
3. Из точной  $S$ -матрицы  $O(N)$ -модели получите  $S$ -матрицу в пределе больших  $N$ .
4. Выведите формулу из лекции для энергии и импульса дырочных возбуждений в модели Тирринга.
5. Выведите формулу из лекции для амплитуды рассеяния двух псевдочастиц в  $XXZ$ -модели.

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

Контрольные вопросы:

1.  $O(2)$ -модель и переход Костерлица–Таулеса.
  - Вихри в  $O(2)$ -модели и кулоновский газ.
  - Запись через нелокальное поле и эквивалентность модели  $\sin$ -Гордон.
  - Переход плазма–газ.
  - Масштабная размерность возмущающего оператора и точное значение точки перехода.
2. Бозонизация модели Тирринга.
  - Представление фермионов через бозонные поля (бозонизация).
  - Сокращение расходящихся частей в лагранжиане и точная связь между константами связи.
3.  $O(3)$ -модель: генерация массы инстантонами.
  - Топологические свойства  $O(3)$ -модели, топологически нетривиальные решения в евклидовой плоскости.
  - Качественное описание генерации массы инстантонами.
4.  $O(N)$ -модель:  $1/N$ -разложение.
  - Теория возмущений по  $1/N$  для  $O(N)$ -модели.
  - Генерация массы.
  - Кинематические условия рассеяния и вычисление  $S$ -матрицы по теории возмущений.
5.  $O(N)$ -модель: интегрируемость и точная  $S$ -матрица.
  - Высшие интегралы движения и факторизация  $S$ -матриц.
  - Уравнение Янга–Бакстера.
  - Вычисление  $S$ -матрицы  $O(N)$ -модели из условий факторизации и пертурбативного результата.
6. Модель Тирринга: решение методом анзатца Бете.
  - Псевдовакуум и волновые функции модели Тирринга в анзатце Бете.
  - Уравнения Бете и их термодинамический предел.
  - Спектр и  $S$ -матрица модели.
7. Спиновая цепочка Гайзенберга и ее скейлинговый предел.
  - $XYZ$ -модель.
  - Преобразование Йордана–Вигнера и  $XY$ -модель.
  - Скейлинговый предел и связь с моделью Тирринга/ $\sin$ -Гордона.
8. Уравнение Янга–Бакстера и анзатц Бете.
  - $XXZ$ -модель и шестивершинная модель.
  - Уравнение Янга–Бакстера и коммутирующие трансфер-матрицы.
  - Координатный анзатц Бете.

9. Алгебраический анзац Бете. Решение уравнений Бете.

- Псевдовакуум и собственные состояния в рамках алгебраического анзаца Бете.
- Уравнения Бете и их решение в термодинамическом пределе.
- Вычисление свободной энергии шестивершинной модели.

10. Задача Кондо: вывод анзаца Бете.

- Эффект Кондо.
- Приведение задачи к одномерной.
- Первичный и вторичный анзац Бете.
- Система уравнений Бете для задачи Кондо.

11. Задача Кондо: решение уравнений Бете.

- Основное состояние в нулевом магнитном поле.
- Обсуждение вывода формулы для намагниченности для системы во внешнем магнитном поле.
- Краткое обсуждение случая конечной температуры.

Примеры экзаменационных билетов:

Билет 1.

1.  $O(2)$ -модель и переход Костерлица–Таулеса.

- Вихри в  $O(2)$ -модели и кулоновский газ.
- Запись через нелокальное поле и эквивалентность модели  $\sin$ -Гордон.
- Переход плазма–газ.
- Масштабная размерность возмущающего оператора и точное значение точки перехода.

2. Задача.

Билет 2.

1. Бозонизация модели Тирринга.

- Представление фермионов через бозонные поля (бозонизация).
- Сокращение расходящихся частей в лагранжиане и точная связь между константами связи.

2. Задача.

## 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**

Промежуточная аттестация по дисциплине «Методы теории одномерных квантовых систем» осуществляется в форме экзамена в соответствии с учебным планом. Для оценки знаний подбираются задания на усмотрение экзаменатора. При проведении оценивания знаний обучающемуся предоставляется время на подготовку на усмотрение экзаменатора. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать одного астрономического часа. Оценивание знаний производится в соответствии с вышеуказанными критериями в соответствии с содержанием дисциплины.