

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ им. Л. Д. Ландау
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН)**

ПРИНЯТО
Ученым советом
ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН
(протокол от «18» марта 2022г. № 8)



УТВЕРЖДАЮ
Директор ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН
д.ф.-м.н., И. В. Колоколов
«18» марта 2022г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
ДИСЦИПЛИНЫ К2.1В.ДВ1.1**

«Теория поля»

По научной специальности: 1.3.3. Теоретическая физика

Уровень образования: Высшее образование - Подготовка кадров высшей квалификации

Форма обучения – очная

Черноголовка 2022

1. Рабочая программа дисциплины по выбору «Теория поля» (К2.1В.ДВ1.1) для Программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (далее – программа аспирантуры) ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН по научной специальности 1.3.3. Теоретическая физика составлена в соответствии с требованиями следующих нормативных документов:
2. Федеральный закон от 29 декабря 2012 года № 273-ФЗ "Об образовании в Российской Федерации" с изменениями на 30.12.2021г.
3. Федеральные государственные требования (ФГТ) к программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), утверждённые Приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20.10.2021 № 951.
4. Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 24.02.2021 № 118 "Об утверждении номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени, и внесении изменения в Положение о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, утвержденное приказом министерства образования и науки Российской Федерации от 10 ноября 2017 г. № 1093
5. Письмо ВАК от 13.05.2021 № 382-02 ВАК о Применении новой номенклатуры НС
6. Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 03.06.2021 № 561 «О советах по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание учёной степени докторов наук»
7. Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 24.08.2021 № 786 "Об установлении соответствия направлений подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) научным специальностям, предусмотренным номенклатурой научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени, утвержденной

приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 24 февраля 2021 г. № 118"

8. Программа-минимум кандидатских экзаменов по специальности Теоретическая физика и с учетом особенностей сложившейся в ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН научной школы

9. Паспорт научной специальности 1.3.3. Теоретическая физика, разработанный экспертами ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Академии Наук.

10. Программа подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (далее – программа аспирантуры) ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН

Автор/составитель ФОС по дисциплине:

д.ф.-м.н., с.н.с.,



_____ Я.П. Пугай

«11» марта 2022 г.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

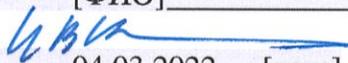
СОГЛАСОВАНО

Директор [должность]

ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН

Колоколов И.В., д.ф.-м.н. проф.

[ФИО] _____



04.03.2022 [дата]

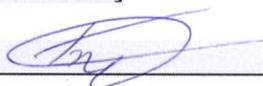
СОГЛАСОВАНО

д.ф.-м.н., зам. директора [должность]

ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН

Бурмистров И.С. [ФИО] _____

11.03.2022 [дата]



СОГЛАСОВАНО

д.ф.-м.н., зам. директора [должность]

ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН

Фоминов Я.В. [ФИО] _____

11.03.2022 [дата]



1. Паспорт научной специальности 1.3.3. Теоретическая физика

Область науки:

1. Естественные науки

Группа научных специальностей:

1.3. Физические науки

Наименование отрасли науки, по которой присуждаются ученые степени:

физико-математические науки

Шифр научной специальности:

1.3.3. Теоретическая физика

Направления исследований:

1. Теория фундаментальных взаимодействий и квантовая теория поля. Изучение явлений на малых масштабах и при больших энергиях. Разработка математических методов теории поля. Объединенные модели фундаментальных взаимодействий. Супергравитация и теория суперструн, модели с дополнительными измерениями, AdS/CFT соответствие, голографические модели.
2. Физические свойства материи и пространства-времени во Вселенной. Классическая и квантовая космология и гравитация. Свойства вакуума, темная энергия. Общая теория относительности и ее расширения.
3. Релятивистская астрофизика.
4. Стандартная модель фундаментальных взаимодействий элементарных частиц и ее расширения, обусловленные проблемой темной материи, физикой нейтрино и другими феноменологическими проблемами.
5. Теория конденсированного состояния классических и квантовых, макроскопических и микроскопических систем. Изучение различных состояний вещества и физических явлений в них. Статистическая физика, квантовая и классическая кинетическая теория.
6. Общие вопросы квантовой механики: основы, теория измерений, общая теория рассеяния. Квантовая теория физических явлений в ядрах, атомах и молекулах.
7. Разработка методов описания адронного вещества и кварк-глюонной плазмы в приложении к процессам в столкновениях ядер, в компактных астрофизических объектах, в ранней Вселенной и в других системах.
8. Симуляции процессов на решетке.
9. Разработка теории мезоскопических систем. Квантовая информатика, квантовые компьютеры, физические модели когнитивных процессов.

10. Развитие теории и исследования общих свойств и закономерностей неравновесных систем. Разработка теории хаоса и турбулентности.

Смежные специальности (в рамках группы научной специальности)¹:

1.3.1. – Физика космоса, астрономия

1.3.15.– Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий

1.3.8. – Физика конденсированного состояния

1.3.16. Атомная и молекулярная физика

1.1.2. – Дифференциальные уравнения и математическая физика

1.3.10 – Физика низких температур

1.3.11 – Физика полупроводников

1.3.12 – Физика магнитных явлений

¹Для рекомендации научных специальностей в создаваемых диссертационных советах

2. Цель и задачи освоения дисциплины

Целью изучения настоящей дисциплины является подготовка квалифицированных научных кадров в области теоретической физики, способных вести научно-исследовательскую работу, самостоятельно ставить и решать актуальные научные и практические задачи.

Задачи дисциплины включают формирование у аспирантов системы знаний и основных понятий по современной теории калибровочных полей, непertурбативным методам квантовой теории поля, а также развитие способности к научно-исследовательской работе и выработку потребности к самостоятельному приобретению знаний по теоретической физике.

3. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры по научной специальности 1.3.3. Теоретическая физика.

Дисциплина «Теория поля» (К2.1В.ДВ1.1) относится к элективным дисциплинам К2.1В.ДВ вариативной части Компонента 2 «Образовательный компонент» Программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (далее – программа аспирантуры) ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН по научной специальности 1.3.3. Теоретическая физика.

Программа курса состоит из трех частей. Первая часть включает в себя повторение и некоторое более углубленное изучение основных положений теории полей Янга-Миллса, теории электрослабых взаимодействий и хромодинамики. Рассмотрены также дополнительные вопросы, связанные с аномалиями, решеточными теориями и суперсимметричными расширениями калибровочных теорий. Вторая часть курса посвящена изучению топологических решений современной теории калибровочных полей. В третьей части рассматривается бутстрап подход к решению двумерных квантовых теорий поля с конформной симметрией, а также более сложных массивных интегрируемых моделей.

4. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Общепрофессиональные компетенции:	
ОПК-1	способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области теоретической физики с использованием

	современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий
<i>Универсальные компетенции:</i>	
УК-1	способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях
<i>Профессиональные компетенции</i>	
ПК-А	способностью самостоятельно выделять различные физические механизмы в физическом феномене, подбирать адекватные модели для описания этих механизмов (в соответствии с профилем подготовки)
ПК-В	способностью применять на практике базовые общепрофессиональные знания теории и методов теоретической физики, в том числе микроскопическое и феноменологическое описание, теорию возмущений и диаграммный методы (в соответствии с профилем подготовки)
ПК-Г	способность применять различные математические методы, такие как ТФКП, решение дифференциальных уравнений, применение теории групп, диаграммная техника, при исследовании математических уравнений
ПК-Д	готовность сотрудничать с экспериментальными группами по планированию физических экспериментов и анализу полученных экспериментальных данных, способностью выделять в экспериментальной ситуации отдельные физические феномены и составлять адекватную математическую модель, описывающую эти феномены (в соответствии с профилем подготовки)
ПК-Е	готовность к дальнейшему самообразованию и расширению компетенции, способностью локализовать общие принципы теоретической физики для нового физического феномена (в соответствии с профилем подготовки)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

Знать:

- базовые методы и идеи калибровочных квантовых теорий поля;
- основы теории электрослабых взаимодействий и квантовой хромодинамики;
- основы теории суперсимметрии и ее использования в квантовой теории поля;
- основные результаты в теории солитонов и инстантонов;
- основополагающие идеи и методы двумерных конформных теорий поля;
- алгебраический подход к вычислению корреляционных функций конформных теорий поля;
- основополагающие идеи интегрируемых массивных теорий поля.

Уметь:

- использовать свои знания для решения фундаментальных и прикладных задач;
- анализировать данные эксперимента и сопоставлять теоретические предсказания и экспериментальные результаты;
- делать качественные выводы при анализе асимптотических режимов в изучаемых проблемах;
- осваивать новые предметные области и теоретические модели;
- пользоваться адекватным математическим аппаратом при решении практических задач;
- эффективно использовать IT-технологии и компьютерную технику;
- конструировать физические подходы, способные описывать физические явления.

Владеть:

- навыками построения моделей квантовой теории поля, описывающих интересующие аспекты изучаемого физического явления;
- основными понятиями квантовых калибровочных теорий, непертурбативными методами изучения интегрируемых моделей КТП, что позволяет решать необходимые задачи на современном уровне.

5. Объем дисциплины, виды учебной работы и форма отчетности

Вид учебной работы	Часов	ЗЕТ
Общая трудоемкость дисциплины	90	2.5

Аудиторные занятия:	85	2.4
лекции	35	1
самостоятельная работа	50	1.4
Контроль	4	0.1

Форма отчетности: зачет с оценкой.

6. Содержание и структура дисциплины

6.1. Учебный план по дисциплине

№	<i>Название тем</i>	Всего
1.	Избранные вопросы калибровочной теории поля	25
2.	Топологические решения в калибровочных теориях поля	29
3.	Точно-решаемые квантовые теории поля	34
	Итого часов:	90

Самостоятельная работа заключается в разборе задач и упражнений по курсу.

6.2. Содержание лекционного курса

Часть 1. Избранные вопросы калибровочной теории поля

1-3. Повторение: основные понятия, идеи и методы неабелевых теорий Янга-Миллса, включая перенормировку, явления асимптотической свободы, конфайнмент, спонтанного нарушения локальных симметрий, механизм Хиггса, квантование теорий со спонтанно нарушенной калибровочной симметрией.

4. Стандартная модель. Калибровочный сектор, кварковый и лептонный сектора, хиггсовский сектор, матрицы смешивания. Примеры вычислений амплитуд.

5-6. Аномалии в калибровочных теориях. Классификация аномалий. Вычисление аномалий методом Вергелеса-Фуджикавы. Киральные аномалии и их сокращение в стандартной модели.

7-8. Решеточные калибровочные теории, закон площадей.

9-10. Суперсимметрия. Петлевые вычисления в суперсимметричных теориях поля.

11-12. Суперсимметричные калибровочные теории поля.

Часть 2. Топологические решения в калибровочных теориях поля

1. Простейшие топологические солитоны. Кинк, масштабные преобразования и теорема об отсутствии солитонов. Вихрь.
2. Солитон в модели n -поля в $(2+1)$ -мерном пространстве-времени. Скирмион.
3. Элементы гомотопической топологии. Гомотопия отображений. Фундаментальная группа. Гомотопические группы.
4. Магнитные монополи. Солитон в модели с калибровочной группой $SU(2)$.
5. Инстантоны в калибровочных полях. Евклидовы калибровочные теории. Классические вакуумы и инстантоны в $(1+1)$ -мерной абелевой модели Хиггса.
6. Классические вакуумы в четырехмерных калибровочных теориях и одноинстантонные решения.
- 7-10. Многоинстантонные решения.
- 11-14. $N=2$ суперсимметричные калибровочные теории поля: точная квазиклассика и формула локализации. Современные вопросы геометрии пространства модулей инстантонов.

Часть 3. Точно-решаемые квантовые теории поля

- 1-2. Повторение. Двумерная конформная теория поля. Модели Белавина-Полякова-Замолодчикова. Операторная алгебра, конформный бутстрап, конформные блоки, примарные поля, спектр Каца.
3. Теория представлений алгебры Вирасоро, конструкция Фейгина-Фукса для сингулярных векторов полностью вырожденных представлений.
4. Интегральные представления для конформных блоков минимальных моделей в свободно-полевом подходе Доценко-Фатеева.
5. БРСТ подход к минимальным моделям, многоточечные корреляционные функции минимальных моделей на торе.
6. Парафермионные конформные теории поля Фатеева-Замолодчикова. Другие модели с Z_n симметрий (W алгебры).
7. Модели $WZNW$ и аффинные алгебры Каца-Муди. Уравнение Книжника-Замолодчикова для корреляционных функций.
- 8-9. Корреляционные функции в квантовой модели Лиувилля. Конструкция Дорна-Отто-Замолодчикова-Замолодчикова. Другие вопросы современной конформной теории поля.
- 10-11. Интегрируемые массивные возмущения конформных теорий поля. Интегрируемые структуры в КТП.
12. Точная матрица рассеяния в квантовой модели синус-Гордона и других интегрируемых теорий поля.

13. Точные вакуумные ожидаемые значения примарных полей в массивных интегрируемых возмущениях конформных теориях поля.

14-15. Введение в термодинамический анзац Бете. Конформная теория возмущений.

16. Введение в теорию форм-факторов точно-решаемых моделей КТП. Спектральное разложение для корреляционных функций. Аксиомы Смирнова. Форм-факторы экспоненциальных полей для квантовой теории типа синус-Гордона. Современные достижения теории форм факторов.

7. Самостоятельная работа аспирантов

Используются виды самостоятельной работы аспиранта: в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах, на рабочих местах с доступом к ресурсам Интернет и в домашних условиях. Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется собеседованием. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, а также конспекты лекций.

8. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов

Контрольные вопросы для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины совпадают с пунктами содержания лекционного курса.

9. Пример экзаменационного билета

1. Основные положения бутстрап подхода в конформных и в массивных интегрируемых теориях поля.

2. Свободно-полевое представление генераторов алгебры Вирасоро, а также примарных полей в двумерной конформной теории поля, интегральные представления для нуль векторов.

После окончания курса аспирантам дается набор вопросов для зачета.

10. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.

10.1.1 Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (обязательная литература)

[1] Пескин М., Шредер Д. Введение в квантовую теорию поля. Москва-Ижевск: РиХД, 2001.

[2] Инстантоны, струны и конформная теория поля: сб. статей под редакцией А.А. Белавина. М. Физматлит, 2002. - 448 с. ISBN 5-9221-0303-2.

[3] Srednicki, M. Quantum Field Theory. Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511813917 (2007).

10.1.2 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (дополнительная литература)

[1] M. Shifman, Advanced Topics in Quantum Field Theory: A Lecture Course. Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-19084-8 (2012)

[2] Itzykson, E., Saleur, H. and Zuber, J.B. (eds.): Conformal Invariance and Applications to Statistical Mechanics, World Scientific (1988).

[3] DiFrancesco P, Mathieu P and Senechal D 1997 Conformal Field Theory (New York: Springer).

[4] A.B. Zamolodchikov, Integrable field theory from conformal field theory. Adv. Stud. Pure Math. 19, 641-674, (1989).

[5] Yang-Baxter equation in integrable systems, ed. Jimbo, M. Singapore: World Scientific (1989)

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

- On-line доступ к журналам [Physical Review Journals](#) (American Physical Society (из подписки ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН)).
- Доступ к ресурсам БЕН РАН (по договору ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН).
- Доступ к НЭБ (свободный доступ)

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

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

10.4. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- аудиторный фонд ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН;
- ноутбук, мультимедийный проектор, экран;

- рабочее место с выходом в Интернет;
- библиотечный фонд ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН
- библиотечные фонды БЕН РАН и НЭБ (по договору ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН)

11. Обеспечение электронной информационно-образовательной средой для освоения дисциплины в полном объёме независимо от места нахождения обучающегося (при необходимости)

- электронные информационные и образовательные ресурсы ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН - ЭИС ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН
- сеть Интернет.