

**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:	Физика легких кварков и киральная динамика
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра физики высоких энергий
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: В.Е. Рочев, д-р физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры физики высоких энергий 04.06.2020

Аннотация

Основная задача этого курса – дать представление о проблемах физики легких кварков и киральной динамике как эффективной модели квантовой хромодинамики. Курс построен так, чтобы создать надежный базис для самостоятельного углубленного изучения этих проблем.

Курс рассчитан на студентов, специализирующихся в физике высоких энергий. Для усвоения курса студенты должны быть знакомы с основами квантовой теории поля и элементами теории групп. Многие математические вопросы, связанные с излагаемой тематикой, обсуждаются в самом курсе.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Дать представление о современных проблемах физики частиц и методах исследования этих проблем, выходящих за рамки стандартной квантовополевой теории возмущений по перенормированной константе связи. Курс построен так, чтобы создать надежный базис для самостоятельного углубленного изучения этих проблем.

Курс рассчитан на студентов, специализирующихся в физике высоких энергий. Для усвоения курса студенты должны быть знакомы с основами квантовой теории поля, элементами теории групп и теории обобщенных функций. Многие математические вопросы, связанные с излагаемой тематикой, обсуждаются в самом курсе.

Задачи дисциплины

– формирование у обучающихся базовых знаний по непертурбативные проблемы физики частиц.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
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

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

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основные черты динамики легких кварков и основные модели киральной динамики.

уметь:

- использовать аппарат киральной динамики для описания свойств легких кварков.

владеть:

- методом эффективного потенциала для описания спонтанного нарушения симметрии.

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	Глобальные симметрии квантовой хромодинамики и легкие кварки.	6	6		9
2	Функциональный формализм квантовой теории поля.	6	6		9
3	Динамика спонтанного нарушения киральной симметрии.	6	6		9
4	Аксиальные аномалии.	6	6		9
5	Монополи.	6	6		9
Итого часов		30	30		45
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

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

Семестр: 2 (Весенний)

1. Глобальные симметрии квантовой хромодинамики и легкие кварки.

Симметрии лагранжиана КХД и киральный предел

Киральная симметрия сильных взаимодействий и ее спонтанное нарушение

2. Функциональный формализм квантовой теории поля.

Корреляционные функции и производящий функционал.

Эффективное действие и эффективный потенциал.

Квазиклассическое разложение и спонтанное нарушение симметрии.

3. Динамика спонтанного нарушения киральной симметрии.

Пион как квазиголдстоуновский бозон.

Динамическое нарушение симметрии и кварковый киральный конденсат.

Сигма – модель как эффективная модель КХД.

Частичное сохранение аксиального тока и теоремы о мягких пионах.

Соотношение Гольдбергера – Треймана.

Нелинейная сигма – модель и пион – пионное рассеяние.

Кварковая модель Намбу – Йона-Лазинио как эффективная динамическая модель КХД для легких кварков.

Псевдоскалярный нонет и $U(1)$ – проблема.

4. Аксиальные аномалии.

Проблема кирального предела в распаде $\pi \rightarrow \gamma\gamma$.

Аномалия аксиального тока.

Аксиальная аномалия в КХД и $U(1)$ – проблема.

Сокращение аномалий в теории электрослабых взаимодействий.

5. Монополи.

Монополь Дирака.

Монополь 'т Хофта – Полякова.

Эффект Рубакова.

Вакуум КХД как сверхпроводник магнитных монополей.

Конфайнмент цвета как дуальный эффект Мейсснера.

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

Учебная аудитория, оснащенная мультимедиапроектором и экраном.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Введение в теорию квантовых полей [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / Н. Н. Боголюбов, Д. В. Ширков .— 4-е изд., испр. — М. : Наука, 1984 .— 600 с.
2. 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.
3. Классические калибровочные поля : Бозонные теории [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / В. А. Рубаков .— 3-е изд. — М. : Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2010 .— 296 с.
4. Квантовая теория поля [Текст]. В 2 т. Т. 1/С. Вайнберг , -М., Физматлит, 2003

5. Квантовая теория поля [Текст]. В 2 т. Т. 1/К. Ициксон, Ж.-Б. Зюбер, -М., Мир, 1984
6. Квантовая теория поля [Текст]. В 2 т. Т. 2/С. Вайнберг, -М., Физматлит, 2003
7. Квантовая теория поля [Текст]. В 2 т. Т. 2/К. Ициксон, Ж.-Б. Зюбер, -М., Мир, 1984

Дополнительная литература

1. I.J.R. Aitchison and A.J.G. Hey. Gauge Theories in Particle Physics, vol. 1, 2, Bristol: IOP Publishing, 2003
2. R. Alkofer and H. Reinhardt, Chiral Quark Dynamics, Berlin: Springer, 1995
3. В.Е. Рочев. Конденсированные среды и физика частиц, Препринт ИФВЭ 96-25, Протвино, 1996

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

<http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».

<http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук.

<http://www.i-exam.ru> – единый портал Интернет-тестирования в сфере образования.

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

Zoom, Skype

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 физики высоких энергий
курс:	1
квалификация:	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен	
Разработчик:	В.Е. Рочев, д-р физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
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
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

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Физика легких кварков и киральная динамика» обучающийся должен:

знать:

– основные черты динамики легких кварков и основные модели киральной динамики.

уметь:

– использовать аппарат киральной динамики для описания свойств легких кварков.

владеть:

– методом эффективного потенциала для описания спонтанного нарушения симметрии.

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

1. Симметрии лагранжиана КХД. Киральный предел и киральная симметрия. Удвоение по четности и спонтанное нарушение киральной симметрии.
2. Корреляционные функции и производящий функционал. Вычисление производящего функционала для свободных полей.
3. Эффективное действие и эффективный потенциал.
4. Квазиклассическое разложение и спонтанное нарушение симметрии.
5. Пион как квазиголдстоуновский бозон.
6. Частичное сохранение аксиального тока и теоремы о мягких пионах.
7. Сигма – модель и вывод соотношения Гольдбергера – Треймана.
8. Кварковая модель Намбу – Йона-Лазинио и ее симметрии.
9. Киральная теория возмущений и ее применение для оценки масс легких кварков.
10. Распад $\pi \rightarrow \gamma\gamma$ и частичное сохранение аксиального тока.
11. Аксиальная аномалия. Сокращение аномалий в Стандартной модели.
12. Псевдоскалярный нонет и $U(1)$ – проблема.
13. Монополь Дирака и монополь 'т Хоофта – Полякова. Эффект Рубакова.
14. Вакуум КХД как сверхпроводник магнитных монополей. Конфайнмент цвета как дуальный эффект Мейсснера

Примеры экзаменационных билетов:

Билет 1.

1. Симметрии лагранжиана КХД. Киральный предел и киральная симметрия. Удвоение по четности и спонтанное нарушение киральной симметрии.
2. Сигма – модель и вывод соотношения Гольдбергера – Треймана.

Билет 2.

1. Корреляционные функции и производящий функционал. Вычисление производящего функционала для свободных полей.
2. Кварковая модель Намбу – Йона-Лазинио и ее симметрии.

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 экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать одного астрономического часа.