

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский физико-технический институт (государственный университет)»
МФТИ**

Кафедра «Фундаментальных и прикладных проблем физики микромира»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по учебной работе

_____ **О.А. Горшков**
_____ **2012 г.**

РАБОЧАЯ УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

**по дисциплине: Квантовая теория калибровочных полей
по направлению: 010900 «Прикладные математика и физика»
магистерская программа: 010912 - «Теоретические проблемы физики
элементарных частиц»**

факультет: ФОПФ

кафедра: Фундаментальных и прикладных проблем физики микромира

курс: 5 (магистратура)

семестр: осенний

Диф. зачет: 9 семестр

Трудоёмкость в зач. ед.: вариативная - 3 зач.ед.

в т.ч.:

лекции: вариативная часть - 34 часа

семинарские занятия: вариативная часть - 34 часа

лабораторные занятия: нет

самостоятельная работа: вариативная часть - 68 часов, 2 зач.ед.

ВСЕГО АУДИТОРНЫХ ЧАСОВ: 68

Программу составил д.ф.-м.н. Нестеренко В.В.

**Программа обсуждена на заседании кафедры «Фундаментальных и прикладных
проблем физики микромира»**

«_____» _____ 2012 г.

Заведующий кафедрой

д.ф.-м.н., профессор Казаков Д.И.

ОБЪЁМ УЧЕБНОЙ НАГРУЗКИ И ВИДЫ ОТЧЁТНОСТИ

Вариативная часть, в т.ч. :	__3__ зач. ед.
Лекции	__34__ часа
Семинарские занятия	__34__ часа
Лабораторные работы	__-__ часов
Индивидуальные занятия с преподавателем	__-__ часов
Самостоятельные занятия	__68__ часов
ВСЕГО	136 часов (3 зач. ед.)
Итоговая аттестация	Диф. зачет - 9 семестр

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Цель курса - получение студентами прочных знаний в области современной физики элементарных частиц, освоение ими квантовой теории калибровочных полей, являющейся основным математическим аппаратом описания всех фундаментальных взаимодействий в микромире, а также приобретение базовых навыков самостоятельной научно-исследовательской работы.

Задачами данного курса являются:

- формирование базовых знаний в области теоретической физики элементарных частиц;
- обучение студентов современным методам теоретического описания различных процессов фундаментальных взаимодействий и навыкам решения сопутствующих задач;
- формирование у студентов профессиональных навыков, необходимых им при проведении исследований в области теоретической физики в рамках выпускных работ на степень магистра.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП МАГИСТРАТУРЫ

Дисциплина «**Квантовая теория калибровочных полей**» включает в себя разделы, которые могут быть отнесены к вариативной части профессионального цикла ООП М.1.

Дисциплина «**Квантовая теория калибровочных полей**» базируется на материалах курсов, читаемых в рамках базовой и вариативной частей УЦ ООП Б.2 и Б.3 (Математический анализ, Дифференциальные уравнения, Теория функций комплексного переменного, Уравнения математической физики, Квантовая теория поля, Физика элементарных частиц, Теория групп), и относится к профессиональному циклу.

КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины «**Квантовая теория калибровочных полей**» направлено на формирование следующих общекультурных и профессиональных компетенций магистра:

а) общекультурные (ОК):

- компетенция самообразования и самоорганизации (ОК-1);

- компетенция профессиональной мобильности (ОК-2);
- компетенция получения знаний и использования новой информации (ОК-3);
- компетенция системного аналитического мышления (ОК-4);
- компетенция креативности (ОК-5).

б) профессиональные (ПК):

- компетенция профессионального использования информации (ПК-1);
- компетенция профессиональной аналитической деятельности (ПК-2);
- компетенция креативности в научно-исследовательской и инновационной деятельности (ПК-3);
- компетенция профессионального владения информационно-коммуникационными технологиями (ПК-4);
- компетенция презентации своей деятельности (ПК-6);
- компетенция самостоятельных исследований (ПК-10);
- компетенция обобщения и презентации результатов исследований (ПК-15).

3. КОНКРЕТНЫЕ ЗНАНИЯ, УМЕНИЯ И НАВЫКИ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины «Квантовая теория калибровочных полей» обучающийся должен:

1. Знать:

- фундаментальные взаимодействия в микромире;
- принцип локальной калибровочной инвариантности;
- правила построения калибровочно-инвариантных лагранжианов;
- теоретико-групповое и геометрическое описание классических калибровочных полей;
- особенности классической динамики калибровочных полей (вторая теорема Нетер);
- обобщенную гамильтонову динамику систем со связями;
- методы квантования систем со связями;
- правила квантования калибровочных теорий методом функционального интегрирования;
- геометрическую интерпретацию детерминанта Фаддеева-Попова;
- тождества Славнова-Тейлора и их роль в доказательстве перенормируемости калибровочных теорий;
- эффект Хиггса и доказательство перенормируемости спонтанно нарушенной неабелевой калибровочной теории.

2. Уметь:

- эффективно применять вышеуказанные знания на практике для решения фундаментальных и прикладных научных задач в области современной теоретической физики элементарных частиц.

3. Владеть:

- техникой построения лагранжиана калибровочной теории по заданной калибровочной группе;
- правилами выбора калибровочных условий;
- методом функционального интегрирования в квантовой теории поля (в лагранжевом и гамильтоновом формализмах, по бозонным и гравитационным переменным);
- техникой построения эффективного квантового лагранжиана для заданной калибровочной группы и выбранной калибровки;

- методом введения духовых переменных в квантовую теорию неабелевых калибровочных полей;
- методом построения правил Фейнмана для калибровочной теории, заданной калибровочной группой, калибровочным условием и набором полей «материи»;
- техникой перехода от одной калибровки к другой при квантовании калибровочных теорий;
- методами описания топологически нетривиальных полевых конфигураций типа монополей 'т Хоофта-Полякова.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Структура преподавания дисциплины

Перечень разделов дисциплины и распределение времени по темам

№ темы и название	Количество часов
1. Введение. Фундаментальные взаимодействия в микромире, их группы симметрии и квантово-полевой формализм.	8
2. Глобальные и локальные симметрии. Принцип локальной калибровочной инвариантности и его следствия.	8
3. Элементы теории групп Ли (геометрические аспекты). Лагранжиан неабелевой калибровочной теории.	8
4. Особенности классической динамики калибровочных полей. Вторая теорема Нетер и ее следствия.	8
5. Обобщенная гамильтонова динамика систем со связями. Скобки Дирака.	8
6. Операторное квантование систем со связями первого и второго рода.	8
7. Функциональный интеграл в квантовой механике и в квантовой теории поля. Лагранжев и гамильтонов формализмы. Интегрирование по бозонным и грассмановым переменным.	8
8. Квантование систем со связями методом функционального интегрирования.	8
9. Гамильтоново описание неабелевых калибровочных теорий. Связи в фазовом пространстве.	8
10. Выбор калибровки. Неоднозначности Грибова.	8
11. Квантование неабелевой калибровочной теории методом функционального интегрирования. Переход от кулоновской калибровки к лоренцевской в функциональном интеграле.	8
12. Детерминант Фаддеева-Попова и поля духов. Геометрическая интерпретация детерминанта Фаддеева-Попова.	8
13. Правила Фейнмана в неабелевой теории поля в разных калибровках и для разных наборов полей материи.	8
14. Унитарность квантовой теории неабелевого калибровочного поля в разных калибровках.	8
15. Тожества Славнова-Тейлора и их роль в доказательстве перенормируемости квантовой теории неабелевых калибровочных полей.	8

16. Эффект Хиггса. Перенормируемость спонтанно нарушенной неабелевой калибровочной теории.	8
17. Монополи в неабелевых теориях.	8
ВСЕГО (часов (зач.ед.))	136 часов (3 зач.ед.)

ВИД ЗАНЯТИЙ: ЛЕКЦИИ

№ п.п.	Темы	Трудоёмкость в зач. ед. (количество часов)
1	Введение. Фундаментальные взаимодействия в микромире, их группы симметрии и квантово-полевой формализм.	2
2	Глобальные и локальные симметрии. Принцип локальной калибровочной инвариантности и его следствия.	2
3	Элементы теории групп Ли (геометрические аспекты). Лагранжиан неабелевой калибровочной теории.	2
4	Особенности классической динамики калибровочных полей. Вторая теорема Нетер и ее следствия.	2
5	Обобщенная гамильтонова динамика систем со связями. Скобки Дирака.	2
6	Операторное квантование систем со связями первого и второго рода.	2
7	Функциональный интеграл в квантовой механике и в квантовой теории поля. Лагранжев и гамильтонов формализмы. Интегрирование по бозонным и фермионным переменным.	2
8	Квантование систем со связями методом функционального интегрирования.	2
9	Гамильтоново описание неабелевых калибровочных теорий. Связи в фазовом пространстве.	2
10	Выбор калибровки. Неоднозначности Грибова.	2
11	Квантование неабелевой калибровочной теории методом функционального интегрирования. Переход от кулоновской калибровки к лоренцевской в функциональном интеграле.	2
12	Детерминант Фаддеева-Попова и поля духов. Геометрическая интерпретация детерминанта Фаддеева-Попова.	2
13	Правила Фейнмана в неабелевой теории поля в разных калибровках и для разных наборов полей материи.	2
14	Унитарность квантовой теории неабелевого калибровочного поля в разных калибровках.	2
15	Тождества Славнова-Тейлора и их роль в доказательстве перенормируемости квантовой теории неабелевых калибровочных полей.	2
16	Эффект Хиггса. Перенормируемость спонтанно нарушенной неабелевой калибровочной теории.	2
17	Монополи в неабелевых теориях.	2

ВСЕГО (зач. ед. (часов))	1 зач. ед. (34 часа)
--------------------------	----------------------

ВИД ЗАНЯТИЙ: СЕМИНАРЫ

№ п.п.	Темы	Трудоёмкость в зач. ед. (количество часов)
1	Введение. Фундаментальные взаимодействия в микромире, их группы симметрии и квантово-полевой формализм.	2
2	Глобальные и локальные симметрии. Принцип локальной калибровочной инвариантности и его следствия.	2
3	Элементы теории групп Ли (геометрические аспекты). Лагранжиан неабелевой калибровочной теории.	2
4	Особенности классической динамики калибровочных полей. Вторая теорема Нетер и ее следствия.	2
5	Обобщенная гамильтонова динамика систем со связями. Скобки Дирака.	2
6	Операторное квантование систем со связями первого и второго рода.	2
7	Функциональный интеграл в квантовой механике и в квантовой теории поля. Лагранжев и гамильтонов формализмы. Интегрирование по бозонным и фермионным переменным.	2
8	Квантование систем со связями методом функционального интегрирования.	2
9	Гамильтоново описание неабелевых калибровочных теорий. Связи в фазовом пространстве.	2
10	Выбор калибровки. Неоднозначности Грибова.	2
11	Квантование неабелевой калибровочной теории методом функционального интегрирования. Переход от кулоновской калибровки к лоренцевской в функциональном интеграле.	2
12	Детерминант Фаддеева-Попова и поля духов. Геометрическая интерпретация детерминанта Фаддеева-Попова.	2
13	Правила Фейнмана в неабелевой теории поля в разных калибровках и для разных наборов полей материи.	2
14	Унитарность квантовой теории неабелевого калибровочного поля в разных калибровках.	2
15	Тождества Славнова-Тейлора и их роль в доказательстве перенормируемости квантовой теории неабелевых калибровочных полей.	2
16	Эффект Хиггса. Перенормируемость спонтанно нарушенной неабелевой калибровочной теории.	2
17	Монополи в неабелевых теориях.	2
ВСЕГО (зач. ед. (часов))		1 зач. ед. (34 часа)

ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ:

№ п.п.	Темы	Трудоёмкость в зач. ед. (количество часов)
1	Изучение теоретического курса Выполняется самостоятельно каждым студентом по итогам каждой из лекций. Результаты контролируются преподавателем на лекционных занятиях. Используются конспекты лекций, учебное пособие, а также рекомендованная учебная литература.	24
2	Решение задач по заданию преподавателя Решаются задачи, выданные преподавателем в ходе лекционных занятий. Результаты контролируются преподавателем на семинарских занятиях. Используются конспекты лекций, сборник задач, а также рекомендованная учебная литература.	24
3	Подготовка к диф.зачету	20
ВСЕГО (зач. ед. (часов))		68 часов (2 зач.ед.)

Содержание дисциплины**Развёрнутые темы и вопросы по разделам**

№ п/п	Название модулей	Разделы и темы лекционных занятий	Содержание	Объем	
				Аудиторная работа (зачетные единицы / часы)	Самостоятельная работа (зачетные единицы / часы)
1		Введение. Фундаментальные взаимодействия в микромире, их группы симметрии и квантово-полевой формализм.	Базовые элементы Стандартной модели: поколения, фундаментальные фермионы (лептоны и кварки) и калибровочные бозоны – переносчики фундаментальных взаимодействий (электрослабого и сильного), бозон Хиггса. Калибровочные симметрии, лежащие в основе Стандартной модели. Квантовая теория поля и элементарные частицы. Идеи струнного подхода к объединению всех взаимодействий, включая гравитацию.	4	4
2		Глобальные и локальные симметрии. Принцип локальной калибровочной инвариантности и его	Роль симметрий в теоретической физике и, в частности, в теории фундаментальных взаимодействий. Глобальные и локальные симметрии и их	4	4

		следствия.	следствия (законы сохранения и фиксирование лагранжиана взаимодействия). Локальная калибровочная инвариантность – основа всех теорий фундаментальных взаимодействий.		
3		Элементы теории групп Ли (геометрические аспекты). Лагранжиан неабелевой калибровочной теории.	Группы Ли как гладкие многообразия. Определение группы Ли по структуре касательного пространства к единичному элементу группы (по ее алгебре Ли). Алгебра Ли – действительное линейное пространство с метрикой Киллинга. Основные факты, касающиеся компактных (в частности, унитарных) групп. Построение на групповой основе лагранжиана неабелевой калибровочной теории.	4	4
4		Особенности классической динамики калибровочных полей. Вторая теорема Нетер и ее следствия.	Следствия локальной калибровочной симметрии для уравнений Эйлера в калибровочных теориях и законах сохранения; связи в конфигурационном и фазовом пространствах и особенности формулировки задачи Коши. Вторая теорема Нетер.	4	4
5		Обобщенная гамильтонова динамика систем со связями. Скобки Дирака.	Гамильтоново описание систем с сингулярными лагранжианами. Обобщенные уравнения Гамильтона, связи первого и второго рода. Скобки Дирака как обобщение скобок Пуассона на системы со связями. Связи и локальные симметрии.	4	4
6		Операторное квантование систем со связями первого и второго рода.	Каноническое квантование систем со связями первого и второго рода переходом к редуцированному фазовому пространству (разрешение связей). Учет связей первого рода в квантовой теории по Дираку.	4	4

7		Функциональный интеграл в квантовой механике и в квантовой теории поля. Лагранжев и гамильтонов формализмы. Интегрирование по бозонным и фермионовым переменным.	Фейнмановское интегрирование по всем путям в квантовой механике в конфигурационном и фазовом пространствах. Представление производящего функционала для функций Грина в КТП в виде интеграла по всем полям в лагранжевых и гамильтоновых переменных. Интегрирование по коммутирующим и антикоммутирующим переменным. Статус функционального интеграла в КТП.	4	4
8		Квантование систем со связями методом функционального интегрирования.	Квантование независимых динамических переменных (редуцированное фазовое пространство) методом функционального интегрирования. Распространение функционального интегрирования на все исходное фазовое пространство. Детерминант Фаддеева-Попова.	4	4
9		Гамильтоново описание неабелевых калибровочных теорий. Связи в фазовом пространстве.	Канонический гамильтониан и генерирование связей в фазовом пространстве. Закон Гаусса. Инволютивность связей в калибровочных теориях.	4	4
10		Выбор калибровки. Неоднозначности Грибова.	Требования, накладываемые на калибровочные условия. Кулоновская калибровка. Граничные условия на калибровочные преобразования, накладываемые на пространственной бесконечности, и однозначность решения соответствующих дифференциальных уравнений.	4	4
11		Квантование неабелевой калибровочной теории методом функционального интегрирования. Переход от кулоновской калибровки к лоренцевской в	Функциональный интеграл для производящего функционала в кулоновской (унитарной) калибровке. Переход к ковариантной калибровке. Прием Фаддеева-Попова (представление единицы в виде интеграла по	4	4

		функциональном интеграле.	калибровочной группе).		
12		Детерминант Фаддеева-Попова и поля духов. Геометрическая интерпретация детерминанта Фаддеева-Попова.	Геометрическая интерпретация детерминанта Фаддеева-Попова. Скобки Лагранжа. “Эвристическое” построение функционального интеграла в лагранжевом формализме.	4	4
13		Правила Фейнмана в неабелевой теории поля в разных калибровках и для разных наборов полей материи.	Вывод правил Фейнмана для неабелевой калибровочной теории (кулоновская калибровка, калибровка Лоренца, аксиальная калибровка). Учет полей материи для разных мультиплетов.	4	4
14		Унитарность квантовой теории неабелевого калибровочного поля в разных калибровках.	Роль духовых полей в проблеме унитарности (конкретные примеры расчетов в низших порядках теории возмущений). Унитарные калибровки. Доказательство унитарности в общем случае (без использования теории возмущений).	4	4
15		Тождества Славнова-Тейлора и их роль в доказательстве перенормируемости квантовой теории неабелевых калибровочных полей.	Перенормируемость квантовой теории калибровочного поля и калибровочная инвариантность на квантовом уровне. Доказательство тождеств Славнова-Тейлора (использование функционального интегрирования). Квантовые аномалии в калибровочных теориях.	4	4
16		Эффект Хиггса. Перенормируемость спонтанно нарушенной неабелевой калибровочной теории.	Необходимость рассмотрения векторных полей с массой (электрослабая теория). Генерирование массы для векторных полей и для фермионов с помощью эффекта Хиггса. Доказательство перенормируемости спонтанно нарушенной неабелевой калибровочной теории.	4	4
17		Монополи в неабелевых теориях.	Монополи Дирака и Швингера в абелевой калибровочной теории. Монополи 'т Хоффа-Полякова в неабеле-	4	4

		левых моделях и их физические приложения.		
--	--	---	--	--

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии:

№ п/п	Вид занятия	Форма проведения занятий	Цель
1	Лекция	Изложение теоретического материала	Получение теоретических знаний по дисциплине
2	Семинар	Решение задач	Повышение степени понимания материала, осознание связи между теорией и практикой, осознание взаимосвязи между различными дисциплинами, а также выработка навыков практического применения полученных знаний
3	Самостоятельная работа студента	Изучение теоретического курса и решение задач	Повышение степени понимания материала и выработка профессиональных навыков

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Контрольно-измерительные материалы:

Перечень контрольных вопросов для сдачи дифференцированного зачета в 9-ом семестре:

1. Фундаментальные взаимодействия в микромире.
2. Набор фундаментальных полей в Стандартной модели.
3. Принцип локальной калибровочной инвариантности.
4. Группы Ли, их алгебры и структурные константы.
5. Восстановление группы по структурным константам.
6. Метрика Киллинга в алгебре Ли. Компактные группы Ли.
7. Инвариантное интегрирование по группе. Мера Хаара.
8. Вторая теорема Нетер. Тождества Нетер. Связи в конфигурационном пространстве.
9. Локальные симметрии и вырожденность лагранжиана.
10. Постановка задачи Коши для калибровочных полей.
11. Обобщенная гамильтонова динамика для вырожденных лагранжианов. Связи первого и второго рода. Скобки Дирака.
12. Правила канонического квантования для систем со связями. Метод редуцированного фазового пространства.
13. Учет связей первого рода на квантовом уровне по Дираку.

14. Квантовая механика на языке функциональных интегралов. Лагранжева и гамильтонова формулировки.
15. Производящий функционал для функций Грина в стандартной КТП и его представление функциональным интегралом «по всем полям».
16. Интегрирование по бозонным и грассмановым переменным.
17. Интегралы гауссовского типа по коммутирующим и антикоммутирующим переменным.
18. Статус функционального интеграла в квантовой теории поля.
19. Квантование систем со связями методом функционального интегрирования.
20. Детерминант Фаддеева-Попова, его геометрическая интерпретация.
21. Гамильтонов формализм для калибровочных полей. Связи в фазовом пространстве.
22. Выбор калибровки, неоднозначности Грибова.
23. Квантование неабелевой теории методом функционального интегрирования в фазовом пространстве.
24. Детерминант Фаддеева-Попова, поля духов.
25. Функциональный интеграл для калибровочной теории в лагранжевом формализме. Прием Фаддеева-Попова (выделение объема калибровочной группы).
26. Правила Фейнмана для неабелевой калибровочной теории в ковариантной калибровке.
27. Особенность аксиальной калибровки.
28. Доказательство унитарности в квантовой теории неабелева калибровочного поля. Роль духов в этом доказательстве.
29. Тожества Славнова-Тейлора как следствие калибровочной инвариантности на квантовом уровне; их роль в доказательстве перенормируемости квантовой неабелевой теории.
30. Калибровочные аномалии.
31. Генерирование массы калибровочных полей с помощью эффекта Хиггса.
32. Физические предпосылки для использования эффекта Хиггса в электрослабой теории.
33. Перенормируемость спонтанно нарушенной калибровочной теории.
34. Монополи 'т Хоофта-Полякова в неабелевых калибровочных моделях.

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Необходимое оборудование для лекций и практических занятий:

компьютер и мультимедийное оборудование (проектор)

Необходимое программное обеспечение:

Adobe Acrobat Reader

Обеспечение самостоятельной работы:

доступ к библиотеке и базам данных по журналам Теоретическая и математическая физика, Письма в ЖЭТФ, УФН, Physical Review D, European Physical Journal C, Journal of High Energy Physics, Lecture Notes in Physics, Nuclear Physics B, Physics Letters B, Physics Reports, Reviews of Modern Physics.

8. НАИМЕНОВАНИЕ ВОЗМОЖНЫХ ТЕМ КУРСОВЫХ РАБОТ

учебным планом не предусмотрено

9. ТЕМАТИКА И ФОРМЫ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ РАБОТЫ

учебным планом не предусмотрено

10. ТЕМАТИКА ИТОГОВЫХ РАБОТ учебным планом не предусмотрено

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература:

1. *Славнов А.А., Фаддеев Л.Д.* Введение в квантовую теорию калибровочных полей. 2-е изд. М.: Наука, 1988.
2. *Рубаков В.А.* Классические калибровочные поля. Бозонные теории. 2-е изд. М.: URSS, 2005.
3. *Коноплева Н.П., Попов В.Н.* Калибровочные поля. 2-е изд., М.: Атомиздат, 1980.
4. Квантовая теория калибровочных полей. Сб. статей. Перевод с англ. под ред. Н.П. Коноплевой. М.: Мир, 1977.
5. *Нестеренко В.В., Червяков А.М.* Сингулярные лагранжианы. Классическая динамика и квантование. Лекции для молодых ученых. ОИЯИ Р2-86-323, Дубна, 1986.
6. *Боголюбов Н.Н., Ширков Д.В.* Введение в теорию квантованных полей. М.: Наука, 1984.
7. *Дирак П.* Лекции по квантовой механике. В кн. Принципы квантовой механики. М.: Наука, 1979.
8. *Фейнман Р., Хибс А.* Квантовая механика и интегралы по траекториям. М.: Мир, 1968.
9. *Зинн-Жюстен Ж.* Континуальный интеграл в квантовой механике. М.: Физматлит, 2006.

Электронные ресурсы, включая доступ к базам данных:

Информационные ресурсы: Доступные через интернет журналы по физике элементарных частиц (Теоретическая и математическая физика, Письма в ЖЭТФ, УФН, Physical Review D, European Physical Journal C, Journal of High Energy Physics, Lecture Notes in Physics, Nuclear Physics B, Physics Letters B, Physics Reports, Reviews of Modern Physics).

Программу составил
д.ф.-м.н. Нестеренко В.В.

« 15 » августа 2012 г.