

**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: Суперсимметричные модели в физике элементарных частиц****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: весенний****Диф.зачет: 10 семестр****Трудоёмкость в зач. ед.: вариативная - 4 зач.ед.****в т.ч.:****лекции: вариативная часть - 32 часа****семинарские занятия: вариативная часть - 32 часа****лабораторные занятия: нет****самостоятельная работа: вариативная часть - 64 часа****ВСЕГО АУДИТОРНЫХ ЧАСОВ: 64****Программу составил к.ф.-м.н. Гладышев А.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

<b>Вариативная часть, в т.ч. :</b>	<u>  4  </u> зач. ед.
Лекции	<u>  32  </u> часа
Семинарские занятия	<u>  32  </u> часа
Лабораторные работы	<u>  –  </u> часов
Индивидуальные занятия с преподавателем	<u>  –  </u> часов
Самостоятельные занятия	<u>  64  </u> часа
<b>ВСЕГО</b>	128 часов (4 зач. ед.)
<b>Итоговая аттестация</b>	<b>Диф.зачет 10 семестр</b>

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Цель курса - освоение студентами фундаментальных знаний в области современной физики элементарных частиц, изучение теоретических концепций физики высоких энергий за пределами Стандартной Модели, а также приобретение базовых навыков самостоятельной научно-исследовательской работы.

*Задачами данного курса являются:*

- формирование базовых знаний в области теоретической физики и физики элементарных частиц;
- обучение студентов современным методам теоретического описания явлений физики высоких энергий и навыкам решения сопутствующих задач;
- формирование подходов к выполнению студентами исследований в области теоретической физики в рамках выпускных работ на степень магистра.

### 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП МАГИСТРАТУРЫ

Дисциплина «**Суперсимметричные модели в физике элементарных частиц**» включает в себя разделы, которые могут быть отнесены к вариативной части профессионального цикла ООП М.1.

Дисциплина «**Суперсимметричные модели в физике элементарных частиц**» 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, Квантовая теория калибровочных полей), и относится к профессиональному циклу.

### КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины «**Суперсимметричные модели в физике элементарных частиц**» 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 «Суперсимметричные модели в физике элементарных частиц» обучающийся должен:**

**1. Знать:**

- Преобразования суперсимметрии. Компонентные поля. Вспомогательные поля.
- Генераторы суперсимметрии.
- Алгебру суперсимметрии.
- Двух- и четырех-компонентные спиноры.
- Грассмановы переменные.
- Суперпространство и суперполя. Супермультиплеты.
- Киральные и антикиральные суперполя.
- Модель Весса-Зумино.
- Векторные суперполя.
- Калибровку Весса-Зумино.
- Лагранжиан  $N=1$  суперсимметричной теории Янга-Миллса.
- Лагранжиан  $N=1$  суперсимметричной теории Янга-Миллса с полями материи.
- Суперпотенциал.
- Скалярный потенциал в моделях с суперсимметрией.
- Механизм О'Райфerti.
- Механизм Файе-Илиопулоса.
- МССМ – Минимальная суперсимметричная Стандартная Модель.
- $R$ -четность.
- Нарушение суперсимметрии в МССМ. Параметры мягкого нарушения суперсимметрии.
- Массовые матрицы и смешивания.
- Уравнения ренормгруппы для параметров модели.
- Ограничения на массу легчайшего хиггсовского бозона в МССМ.
- Радиационное нарушение электрослабой симметрии в МССМ.
- Спектр бозонов Хиггса в МССМ.

- Теоретические и экспериментальные ограничения на значения параметров МССМ.
- Модели с расширенным хиггсовским сектором.
- Модели с нарушенной  $R$ -четностью.
- Модели с различными механизмами нарушения суперсимметрии.
- Суперсимметричные теории Великого Объединения.
- Основные процессы рождения и каналы распадов суперпартнеров.
- Последние результаты по экспериментальному поиску суперсимметрии.
- $N=2$  суперсимметричная теория Янга-Миллса.  $N=2$  гипермультиплет.
- $N=4$  суперсимметричная теория Янга-Миллса.

### 2. Уметь:

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

### 3. Владеть:

- техникой работы с двух- и четырех-компонентными спинорами;
- техникой работы с грассмановыми переменными;
- техникой построения суперсимметричных лагранжианов;
- техникой построения и диагонализации массовых матриц суперчастиц;
- техникой описания процессов рождения и распадов суперчастиц;

## 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Структура преподавания дисциплины

#### Перечень разделов дисциплины и распределение времени по темам

№ темы и название	Количество часов
1. Стандартная Модель фундаментальных взаимодействий	8
2. Пути решения проблем Стандартной Модели с помощью суперсимметрии.	8
3. Преобразования суперсимметрии. Алгебра суперсимметрии.	8
4. $N=1$ суперсимметрия (часть I).	8
5. $N=1$ суперсимметрия (часть II).	8
6. $N=1$ суперсимметрия (часть III).	8
7. Спонтанное нарушение суперсимметрии.	8
8. Минимальная суперсимметричная Стандартная Модель (часть I).	8
9. Минимальная суперсимметричная Стандартная Модель (часть II).	8
10. Бозоны Хиггса в суперсимметричных теориях.	8
11. Пространство параметров МССМ.	8
12. Неминимальные суперсимметричные расширения Стандартной Модели (часть I).	8
13. Неминимальные суперсимметричные расширения	8

Стандартной Модели (часть II).	
14. Поиск суперсимметрии в неускорительных экспериментах.	8
15. Поиск суперсимметрии в ускорительных экспериментах.	8
16. Понятие о расширенной суперсимметрии.	8
ВСЕГО (часов (зач.ед.))	128 часов (4 зач.ед.)

### ВИД ЗАНЯТИЙ: ЛЕКЦИИ

№ п.п.	Темы	Трудоёмкость в зач. ед. (количество часов)
1	Стандартная Модель фундаментальных взаимодействий	2
2	Пути решения проблем Стандартной Модели с помощью суперсимметрии.	2
3	Преобразования суперсимметрии. Алгебра суперсимметрии.	2
4	$N=1$ суперсимметрия (часть I).	2
5	$N=1$ суперсимметрия (часть II).	2
6	$N=1$ суперсимметрия (часть III).	2
7	Спонтанное нарушение суперсимметрии.	2
8	Минимальная суперсимметричная Стандартная Модель (часть I).	2
9	Минимальная суперсимметричная Стандартная Модель (часть II).	2
10	Бозоны Хиггса в суперсимметричных теориях.	2
11	Пространство параметров МССМ.	2
12	Неминимальные суперсимметричные расширения Стандартной Модели (часть I).	2
13	Неминимальные суперсимметричные расширения Стандартной Модели (часть II).	2
14	Поиск суперсимметрии в неускорительных экспериментах.	2
15	Поиск суперсимметрии в ускорительных экспериментах.	2
16	Понятие о расширенной суперсимметрии.	2
ВСЕГО (зач. ед. (часов))		1 зач. ед. (32 часа)

### ВИД ЗАНЯТИЙ: СЕМИНАРЫ

№ п.п.	Темы	Трудоёмкость в зач. ед. (количество часов)
1	Стандартная Модель фундаментальных взаимодействий	2

2	Пути решения проблем Стандартной Модели с помощью суперсимметрии.	2
3	Преобразования суперсимметрии. Алгебра суперсимметрии.	2
4	$N=1$ суперсимметрия (часть I).	2
5	$N=1$ суперсимметрия (часть II).	2
6	$N=1$ суперсимметрия (часть III).	2
7	Спонтанное нарушение суперсимметрии.	2
8	Минимальная суперсимметричная Стандартная Модель (часть I).	2
9	Минимальная суперсимметричная Стандартная Модель (часть II).	2
10	Бозоны Хиггса в суперсимметричных теориях.	2
11	Пространство параметров МССМ.	2
12	Неминимальные суперсимметричные расширения Стандартной Модели (часть I).	2
13	Неминимальные суперсимметричные расширения Стандартной Модели (часть II).	2
14	Поиск суперсимметрии в неускорительных экспериментах.	2
15	Поиск суперсимметрии в ускорительных экспериментах.	2
16	Понятие о расширенной суперсимметрии.	2
ВСЕГО (зач. ед. (часов))		1 зач. ед. (32 часа)

### ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ:

№ п.п.	Темы	Трудоёмкость в зач. ед. (количество часов)
1	<b>Изучение теоретического курса</b> 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.	32
2	<b>Решение задач по заданию преподавателя</b> Решаются задачи, предложенные преподавателем по итогам лекционных занятий. Результаты контролируются преподавателем на семинарских занятиях. Используются конспекты лекций, учебное пособие, включающее сборник задач, а также рекомендованная учебная литература.	32
ВСЕГО (зач. ед. (часов))		64 часа (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		Стандартная Модель фундаментальных взаимодействий	Основные положения Стандартной Модели. Электромагнитные взаимодействия. Слабые взаимодействия. Сильные взаимодействия. Симметрии Стандартной Модели. Кварки и лептоны. Калибровочные поля. W, Z бозоны и глюоны. Лагранжиан Стандартной Модели	4	4
2		Пути решения проблем Стандартной Модели с помощью суперсимметрии.	Бегущие константы связи. Великое Объединение. Скалярные поля в Стандартной Модели. Проблема иерархий. Решение проблемы иерархий с помощью суперсимметрии. Проблема темной материи и ее решение в рамках суперсимметричных расширений Стандартной Модели.	4	4
3		Преобразования суперсимметрии. Алгебра суперсимметрии.	Понятие суперсимметрии. Преобразования суперсимметрии. Компонентные поля. Вспомогательные поля. Генераторы суперсимметрии. Алгебра суперсимметрии. Двух- и четырех-компонентные спиноры. Грассмановы переменные.	4	4
4		$N=1$ суперсимметрия (часть I).	Суперпространство и суперполя. Супермультиплеты. Грассмановы переменные. Киральные и антикиральные	4	4

			суперполя. Разложение по компонентным полям. Модель Весса-Зумино.		
5		$N=1$ суперсимметрия (часть II).	Векторные суперполя. Разложение векторного суперполя по компонентным полям. Калибровка Весса-Зумино. $N=1$ суперсимметричная теория Янга-Миллса. Построение инвариантов из киральных, антикиральных и векторных полей.	4	4
6		$N=1$ суперсимметрия (часть III).	Построение инвариантов из киральных, антикиральных и векторных полей. Построение лагранжианов. $N=1$ суперсимметричная теория Янга-Миллса с полями материи. Суперпотенциал. Скалярный потенциал в моделях с суперсимметрией.	4	4
7		Спонтанное нарушение суперсимметрии.	Спонтанное нарушение суперсимметрии. Механизм О'Райферти и механизм Файе-Илиопулоса.	4	4
8		Минимальная суперсимметричная Стандартная Модель (часть I).	МССМ – Минимальная суперсимметричная Стандартная Модель. Суперпартнеры. Взаимодействия частиц Стандартной Модели и суперпартнеров. $R$ -четность. Нарушение суперсимметрии в МССМ. Мягкое нарушение суперсимметрии за счет эффектов гравитации. Параметры мягкого нарушения суперсимметрии.	4	4
9		Минимальная суперсимметричная Стандартная Модель (часть II).	Суперпартнеры – взаимодействия и массы. Массовые матрицы и смешивания. Уравнения ренормгруппы для параметров модели.	4	4



10	Бозоны Хиггса в суперсимметричных теориях.	Хиггсовские бозоны в суперсимметричных теориях. Ограничения на массу легчайшего хиггсовского бозона (древесное приближение и радиационные поправки). Радиационное нарушение электрослабой симметрии в МССМ. Спектр бозонов Хиггса в МССМ.	4	4
11	Пространство параметров МССМ.	Анализ пространства параметров МССМ. Теоретические и экспериментальные ограничения на значения параметров модели.	4	4
12	Неминимальные суперсимметричные расширения Стандартной Модели (часть I).	Неминимальные расширения Стандартной Модели. Модели с расширенным хиггсовским сектором. Модели с нарушенной $R$ -четностью.	4	4
13	Неминимальные суперсимметричные расширения Стандартной Модели (часть II).	Модели с различными механизмами нарушения суперсимметрии. Суперсимметричные теории Великого Объединения.	4	4
14	Поиск суперсимметрии в неускорительных экспериментах.	«Суперсимметричная» темная материя. Сравнение предсказаний суперсимметричных теорий с результатами по прямому детектированию темной материи.	4	4
15	Поиск суперсимметрии в ускорительных экспериментах.	Поиск суперсимметрии в экспериментах на коллайдерах (Tevatron, LHC). Основные процессы рождения и каналы распадов суперпартнеров. Обсуждение последних результатов по экспериментальному поиску суперсимметрии.	4	4
16	Понятие о расширенной суперсимметрии.	Понятие о расширенной суперсимметрии. $N=2$ суперсимметричная теория	4	4

			Янга-Миллса. N=2 гипермультиплет. N=4 суперсимметричная теория Янга-Миллса.		
--	--	--	--	--	--

## 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 10-ом семестре:

1. Понятие суперсимметрии.
2. Преобразования суперсимметрии.
3. Компонентные поля.
4. Вспомогательные поля.
5. Генераторы суперсимметрии.
6. Алгебра суперсимметрии.
7. Двух- и четырех-компонентные спиноры.
8. Грассмановы переменные.
9. Суперпространство и суперполя.
10. Супермультиплеты.
11. Киральные и антикиральные суперполя.
12. Разложение по компонентным полям.
13. Модель Весса-Зумино.

14. Векторные суперполя.
15. Разложение векторного суперполя по компонентным полям.
16. Калибровка Весса-Зумино.
17.  $N=1$  суперсимметричная теория Янга-Миллса.
18. Построение инвариантов из киральных, антикиральных и векторных полей.
19.  $N=1$  суперсимметричная теория Янга-Миллса с полями материи.
20. Суперпотенциал.
21. Скалярный потенциал в моделях с суперсимметрией.
22. Спонтанное нарушение суперсимметрии.
23. Механизм О'Райферти.
24. Механизм Файе-Илиопулоса.
25. МССМ – Минимальная суперсимметричная Стандартная Модель.
26. Суперпартнеры. Взаимодействия частиц Стандартной Модели и суперпартнеров.
27.  $R$ -четность.
28. Нарушение суперсимметрии в МССМ. Мягкое нарушение суперсимметрии за счет эффектов гравитации. Параметры мягкого нарушения суперсимметрии.
29. Массовые матрицы и смешивания.
30. Уравнения ренормгруппы для параметров модели.
31. Хиггсовские бозоны в суперсимметричных теориях.
32. Ограничения на массу легчайшего хиггсовского бозона (древесное приближение и радиационные поправки) в МССМ.
33. Радиационное нарушение электрослабой симметрии в МССМ.
34. Спектр бозонов Хиггса в МССМ.
35. Теоретические и экспериментальные ограничения на значения параметров МССМ.
36. Модели с расширенным хиггсовским сектором.
37. Модели с нарушенной  $R$ -четностью.
38. Модели с различными механизмами нарушения суперсимметрии.
39. Суперсимметричные теории Великого Объединения.
40. Суперсимметричная темная материя.
41. Сравнение предсказаний суперсимметричных теорий с результатами по прямому детектированию темной материи.
42. Основные процессы рождения и каналы распадов суперпартнеров.
43. Последние результаты по экспериментальному поиску суперсимметрии.
44. Понятие о расширенной суперсимметрии.
45.  $N=2$  суперсимметричная теория Янга-Миллса.  $N=2$  гипермультиплет.
46.  $N=4$  суперсимметричная теория Янга-Миллса.

## 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 Успехи физических наук, Теоретическая и математическая физика, Физика элементарных частиц и атомного ядра, European Physical Journal C, Journal of High Energy Physics, Lecture Notes in Physics, Nuclear Physics B, Physics Letters B, Physics Reports, Physical Review D, 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. Весс Ю., Беггер Д. Суперсимметрия и супергравитация. М.: Мир, 1986.
2. Уэст П. Введение в суперсимметрию и супергравитацию. М.: Мир, 1989.
3. Вайнберг С., Квантовая теория поля, т. 3. Суперсимметрия, М.: ФАЗИС, 2002.
4. Sohnius M., Introducing supersymmetry, Phys. Rept., v.128, p.39 (1985).
5. Drees M., Godbole R.M., Roy P., Theory and Phenomenology of Sparticles, Singapore, World Scientific, 2004.

**Электронные ресурсы, включая доступ к базам данных:**

Информационные ресурсы: Доступные через интернет журналы по физике элементарных частиц (Успехи физических наук, Теоретическая и математическая физика, Физика элементарных частиц и атомного ядра, European Physical Journal C, Journal of High Energy Physics, Lecture Notes in Physics, Nuclear Physics B, Physics Letters B, Physics Reports, Physical Review D, Reviews of Modern Physics), а также учебное пособие и сборник задач, разработанные для данного курса.

Программу составил  
к.ф.-м.н. Гладышев А.В.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2012 г.