

**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**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Суперсимметричные модели в физике элементарных частиц
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра фундаментальных и прикладных проблем физики микромира
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	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: А.В. Гладышев, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры фундаментальных и прикладных проблем физики микромира  
25.05.2020

## Аннотация

Данный курс содержит изложение основных теоретических концепций физики высоких энергий за пределами Стандартной Модели. Подробно рассматриваются N=1 суперсимметрия и Минимальная суперсимметричная Стандартная Модель. Обсуждаются неминимальные суперсимметричные расширения Стандартной Модели, с учетом экспериментальных результатов, полученных на Большом адронном коллайдере. Курс является углубленным и предназначен для студентов, специализирующихся в области теоретической физики.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- 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.

#### Задачи дисциплины

- ☐ 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. 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-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
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-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений

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-5.1 Способен работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
	ОПК-5.2 Владеет навыком руководства малым коллективом в сфере своей профессиональной деятельности
	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-1.2 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

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны 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'Райферти.
- ☐ 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.

уметь:

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

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. 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	Стандартная Модель фундаментальных взаимодействий	2	2		6
2	Пути решения проблем Стандартной Модели с помощью суперсимметрии	2	2		3
3	Преобразования суперсимметрии	2	2		3
4	$N=1$ суперсимметрия	4	4		4
5	Спонтанное нарушение суперсимметрии	2	2		3
6	Минимальная суперсимметричная Стандартная Модель	4	4		3
7	Бозоны Хиггса в суперсимметричных теориях	2	2		3
8	Пространство параметров МССМ	2	2		3
9	Неминимальные суперсимметричные расширения Стандартной Модели	4	4		3
10	Поиск суперсимметрии в неускорительных экспериментах	2	2		3
11	Поиск суперсимметрии в ускорительных экспериментах	2	2		3
12	Понятие о расширенной суперсимметрии	2	2		8
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. 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

###### 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.

### 3. Преобразования суперсимметрии

Алгебра суперсимметрии. Понятие суперсимметрии. Преобразования суперсимметрии. Компонентные поля. Вспомогательные поля. Генераторы суперсимметрии. Алгебра суперсимметрии. Двух- и четырехкомпонентные спиноры. Грассмановы переменные.

### 4. $N=1$ суперсимметрия

$N=1$  суперсимметрия (часть I).

Суперпространство и суперполя. Супермультиплеты. Грассмановы переменные. Киральные и антикиральные суперполя. Разложение по компонентным полям. Модель Весса -Зумино.

$N=1$  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.

$N=1$  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.

### 5. Спонтанное нарушение суперсимметрии

Спонтанное нарушение суперсимметрии. Механизм О'Райферти и механизм Файе -Илиопулоса.

### 6. Минимальная суперсимметричная Стандартная Модель

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.

Суперпартнеры – взаимодействия и массы. Массовые матрицы и смешивания. Уравнения ренормгруппы для параметров модели.

### 7. 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.

### 8. Пространство параметров МССМ

Анализ пространства параметров МССМ. Теоретические и экспериментальные ограничения на значения параметров модели.

### 9. Неминимальные суперсимметричные расширения Стандартной Модели

Неминимальные расширения Стандартной Модели. Модели с расширенным хиггсовским сектором. Модели с нарушенной R - четностью.

Модели с различными механизмами нарушения суперсимметрии. Суперсимметричные теории Великого Объединения.

### 10. Поиск суперсимметрии в неускорительных экспериментах

«Суперсимметричная» темная материя. Сравнение предсказаний суперсимметричных теорий с результатами по прямому детектированию темной материи.

#### 11. 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.

#### 12. Понятие о расширенной суперсимметрии

Понятие о расширенной суперсимметрии. N=2 суперсимметричная теория Янга-Миллса. N=2 гипермультиплет. N=4 суперсимметричная теория Янга-Миллса.

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

Учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

### **6.Перечень рекомендуемой литературы**

#### Основная литература

1. Суперсимметрия и супергравитация [Текст]/Ю. Весс, Дж. Беггер , -М., Мир, 1986
2. Введение в суперсимметрию и супергравитацию [Текст]/П. Уэст , -М., Мир, 1989
3. Вайнберг С., Квантовая теория поля, т. 3. Суперсимметрия, - М.: ФАЗИС, 2002.

#### Дополнительная литература

1. Sohnius M., Introducing supersymmetry, Phys. Rept., v.128, p.39 (1985).
2. Drees M., Godbole R.M., Roy P., Theory and Phenomenology of Sparticles, Singapore, World Scientific, 2004.

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

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.

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

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.

### **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)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра фундаментальных и прикладных проблем физики микромира
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен	
<b>Разработчик:</b>	А.В. Гладышев, 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-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
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-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
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-5.1 Способен работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
	ОПК-5.2 Владеет навыком руководства малым коллективом в сфере своей профессиональной деятельности
	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-1.2 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

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Суперсимметричные модели в физике элементарных частиц» обучающийся должен:

**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'Райферти.
- ☐ 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.

**уметь:**

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

**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.

**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**

Перечень контрольных вопросов для сдачи экзамена 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.

Примеры экзаменационных билетов:

Билет 1.

1. Понятие суперсимметрии.
2. Механизм Файе-Илиопулоса.

Билет 2.

1. Преобразования суперсимметрии.
2. МССМ – Минимальная суперсимметричная Стандартная Модель.

Билет 3.

1. Компонентные поля.
2. Суперпартнеры. Взаимодействия частиц Стандартной Модели и суперпартнеров.

Билет 4.

1. Вспомогательные поля.
2. R-четность.

## Билет 5.

1. Генераторы суперсимметрии.

2. Нарушение суперсимметрии в МССМ. Мягкое нарушение суперсимметрии за счет эффектов гравитации. Параметры мягкого нарушения суперсимметрии.

### Критерии оценивания

Обучающемуся ставится оценка в соответствии с продемонстрированным уровнем подготовки; оценивание производится на усмотрения экзаменатора в соответствии с особенностями дисциплины и следующими критериями:

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 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.