

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт физики



**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор  
по образовательной деятельности КФУ  
Проф. Минзарипов Р.Г.

"\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Программа дисциплины**  
Теория суперсимметрии Б1.В.ДВ.1

Направление подготовки: 03.04.02 - Физика  
Профиль подготовки: Физика сложных систем  
Квалификация выпускника: магистр  
Форма обучения: очное  
Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Аминова А.В. , Аминова Ася Васильевна

**Рецензент(ы):**

Таюрский Д.А. , Таюрский Дмитрий Альбертович

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Сушков С. В.  
Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_ от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 201\_\_ г  
Учебно-методическая комиссия Института физики:  
Протокол заседания УМК No \_\_\_\_ от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный No

Казань  
2015

## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) профессор, д.н. (профессор) Аминова А.В. Кафедра теории относительности и гравитации Отделение физики, Asya.Aminova@kpfu.ru; Аминова Ася Васильевна

### 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины "Теория суперсимметрий" (ЕН.В1.2) являются закрепление и углубление знаний, полученных при изучении дисциплин: Б.3Б.6 "Физика атомного ядра и элементарных частиц", Б.3.ДВ.6 "Общая теория относительности", Б.3.ДВ7 "Квантовая теория поля" и Б.2.Д.В.2.3 "Дифференцируемые многообразия и риманова геометрия"; изучение основных принципов и методов суперсимметричных физических теорий, овладение математическим аппаратом теории суперсимметрий, знакомство с современными тенденциями в развитии суперсимметричных полевых теорий и углубление представлений студентов о природе и взаимосвязи фундаментальных взаимодействий.

### 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел "Б1.В.ДВ.1 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 03.04.02 Физика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 1 курсе, 2 семестр.

Дисциплина ЕН1.В1.2 "Теория суперсимметрий" является вариативной частью естественнонаучного цикла дисциплин (блок М.1) для магистров по направлению подготовки 011200 "Физика", профиль "Теоретическая и математическая физика". Обучающийся должен владеть знаниями и умениями, полученными при изучении дисциплин математического и естественнонаучного цикла (блок Б.2), а также базовой части профессионального цикла (модуль "Теоретическая физика") и дисциплин Б.3.ДВ1 "Специальная теория относительности", Б.3.ДВ6 "Общая теория относительности", Б.3.ДВ10 "Теория спиноров" и Б.3.ДВ7 "Квантовая теория поля". Основные положения дисциплины ЕН.В1.2 "Теория суперсимметрий" должны использоваться в дальнейшем при изучении следующих дисциплин: ДН(М).Ф1 "Современные проблемы физики", ДН(М).Р.2 "Физика высоких энергий и космология", ДН(М).В1.2 "Калибровочные поля". Освоение дисциплины "Теория суперсимметрий" необходимо также как предшествующее для научно-исследовательской практики по теории струн и суперструн.

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ок-1	способностью к абстрактному мышлению, анализу, синтезу
опк-2	готовностью руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
опк-3	способностью к активной социальной мобильности, организации научно-исследовательских и инновационных работ
опк-4	способностью адаптироваться к изменению научного профиля своей профессиональной деятельности, социокультурных и социальных условий деятельности

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
пк-2	способностью свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности
опк-6	способностью использовать знания современных проблем и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе
пк-3	способностью принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

базовые понятия и факты алгебры и анализа с антикоммутирующими переменными и теории суперсимметрий; иметь представление об особенностях и основных идеях новейших теоретических исследований в области квантовой физики, использующих суперсимметричный подход.

2. должен уметь:

дифференцировать и интегрировать функции со значениями в грассмановой алгебре, освоить основные приемы вычислений в теории супергрупп и теории супермногообразий, использовать основные принципы и методы теории суперсимметрий в своей научно-исследовательской деятельности.

3. должен владеть:

основными разделами теории суперсимметрий, необходимыми для решения научно-исследовательских задач (в соответствии со своей магистерской программой).

#### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных(ые) единиц(ы) 108 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины экзамен во 2 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

##### Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Алгебра и анализ с антикоммутирующими переменными.	2	1,2	2	0	2	устный опрос
2.	Тема 2. Супералгебры и супергруппы Ли.	2	3,4	2	0	3	домашнее задание
3.	Тема 3. Суперпространство и суперполя.	2	5	3	0	2	устный опрос
4.	Тема 4. Суперсимметричные калибровочные теории. Суперсимметрия и супергравитация.	2	6	2	0	3	домашнее задание
5.	Тема 5. Теория Зайберга-Виттена.	2	7	3	0	2	устный опрос
	Тема . Итоговая форма контроля	2		0	0	0	экзамен
	Итого			12	0	12	

#### 4.2 Содержание дисциплины

##### Тема 1. Алгебра и анализ с антикоммутирующими переменными.

###### *лекционное занятие (2 часа(ов)):*

Общие сведения об ассоциативных алгебрах. Алгебры Грассмана. Система образующих грассмановой алгебры. Автоморфизм четности. Подалгебры и факторалгебры грассмановой алгебры. Градуированное линейное пространство. Функции со значениями в грассмановой алгебре. Грассмановы аналитические функции. Четные и нечетные образующие алгебры функций со значениями в грассмановой алгебре. Теорема о неявных функциях.

###### *лабораторная работа (2 часа(ов)):*

Алгебры Грассмана. Система образующих грассмановой алгебры. Автоморфизм четности. Подалгебры и факторалгебры грассмановой алгебры. Градуированное линейное пространство. Функции со значениями в грассмановой алгебре. Грассмановы аналитические функции. Четные и нечетные образующие алгебры функций со значениями в грассмановой алгебре.

## Тема 2. Супералгебры и супергруппы Ли.

### *лекционное занятие (2 часа(ов)):*

Супералгебры Ли. Супергруппы Ли. Супергруппа Пуанкаре. Алгебра суперсимметрий и ее представления. Супермультиплеты. Супералгебры Ли. Супергруппы Ли. Супергруппа Пуанкаре. Алгебра суперсимметрий и ее представления. Супермультиплеты Градуированные алгебры Ли. Суперслед и суперкиллингова форма.

### *лабораторная работа (3 часа(ов)):*

Супергруппа Пуанкаре. Алгебра суперсимметрий и ее представления. Супермультиплеты.

## Тема 3. Суперпространство и суперполя.

### *лекционное занятие (3 часа(ов)):*

Суперпространство. Суперпреобразование. Киральные суперполя. Суперковариантные производные. Суперсимметричные действия. Векторные суперполя. Модель Весса-Зумино.

### *лабораторная работа (2 часа(ов)):*

Суперпреобразование. Киральные суперполя.

## Тема 4. Суперсимметричные калибровочные теории. Суперсимметрия и супергравитация.

### *лекционное занятие (2 часа(ов)):*

$N=1$  суперсимметричная калибровочная теория. Суперсимметричная КХД.  $N=2$  суперсимметричная янг-миллсовская теория. Спонтанно нарушенная суперсимметрия. Суперсимметрия и супергравитация.

### *лабораторная работа (3 часа(ов)):*

Суперсимметрия и супергравитация.

## Тема 5. Теория Зайберга-Виттена.

### *лекционное занятие (3 часа(ов)):*

Низкоэнергетическое эффективное действие  $N=2$  суперсимметричной калибровочной теории. Дуальность Зайберга-Виттена. Монополи.

### *лабораторная работа (2 часа(ов)):*

Низкоэнергетическое эффективное действие  $N=2$  суперсимметричной калибровочной теории.

### 4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
1.	Тема 1. Алгебра и анализ с антикоммутирующими переменными.	2	1,2	подготовка к устному опросу	12	устный опрос
2.	Тема 2. Супералгебры и супергруппы Ли.	2	3,4	подготовка домашнего задания	10	домашнее задание
3.	Тема 3. Суперпространство и суперполя.	2	5	подготовка к устному опросу	12	устный опрос
4.	Тема 4. Суперсимметричные калибровочные теории. Суперсимметрия и супергравитация.	2	6	подготовка домашнего задания	12	домашнее задание

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
5.	Тема 5. Теория Зайберга-Виттена.	2	7	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
	Итого				48	

## 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

интернет-технологии, использование систем аналитических вычислений.

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

### Тема 1. Алгебра и анализ с антикоммутирующими переменными.

устный опрос , примерные вопросы:

Общие сведения об ассоциативных алгебрах. Алгебры Грассмана. Система образующих грассмановой алгебры. Автоморфизм четности. Подалгебры и факторалгебры грассмановой алгебры. Градуированное линейное пространство. Функции со значениями в грассмановой алгебре. Грассмановы аналитические функции. Четные и нечетные образующие алгебры функций со значениями в грассмановой алгебре. Теорема о неявных функциях. практическое занятие (2 часа(ов)): Анализ функций от антикоммутирующих переменных. Дифференцирование. Интегрирование. Супердетерминант (березиниан). Супермногообразия. Тема 2. Супералгебры и супергруппы Ли. лекционное занятие (2 часа(ов)): Супералгебры Ли. Супергруппы Ли. Супергруппа Пуанкаре. Алгебра суперсимметрий и ее представления. Супермультиплеты. Градуированные алгебры Ли. Суперслед и суперкиллингова форма. практическое занятие (2 часа(ов)): Градуированные алгебры Ли. Суперслед. Суперкиллингова форма. Классификация простых конечномерных супералгебр Ли. Тема 3. Суперпространство и суперполя. лекционное занятие (2 часа(ов)): Суперпространство. Суперпреобразование. Киральные суперполя. Суперковариантные производные. Суперсимметричные действия. Векторные суперполя. Тема 4. Суперсимметричные калибровочные теории. лекционное занятие (2 часа(ов)):  $N=1$  суперсимметричная калибровочная теория. Суперсимметричная КХД.  $N=2$  суперсимметричная янг-милсовская теория. Спонтанно нарушенная суперсимметрия. Тема 5. Теория Зайберга-Виттена. лекционное занятие (2 часа(ов)): Низкоэнергетическое эффективное действие  $N=2$  суперсимметричной калибровочной теории. Дуальность Зайберга-Виттена. Монополи.

### Тема 2. Супералгебры и супергруппы Ли.

домашнее задание , примерные вопросы:

Построить  $Z_2$  градуированную алгебру Ли (супералгебру Ли), порожденную генераторами заданной алгебры Ли малой размерности.

### Тема 3. Суперпространство и суперполя.

устный опрос , примерные вопросы:

Суперпространство. Суперпреобразование. Киральные суперполя. Суперковариантные производные. Суперсимметричные действия. Векторные суперполя. Модель Весса-Зумино.

### Тема 4. Суперсимметричные калибровочные теории. Суперсимметрия и супергравитация.

домашнее задание , примерные вопросы:

Упр. 1. Найти закон преобразования вещественного скалярного суперполя в компонентах относительно инфинитезимальных преобразований в суперпространстве простой ( $N=1$ ) суперсимметрии. Упр. 2. Используя результаты Упр. 1, выписать генераторы суперпреобразований. Упр. 3. Вычислив суперкоммутаторы генераторов из Упр. 2, получить структурные соотношения супералгебры Пуанкаре. \*Упр. 4. Решить задачи, приведенные на странице [http://theorphys.phys.msu.ru/education/zad\\_susy.pdf](http://theorphys.phys.msu.ru/education/zad_susy.pdf).



## **Тема 5. Теория Зайберга-Виттена.**

устный опрос , примерные вопросы:

Низкоэнергетическое эффективное действие  $N=2$  суперсимметричной калибровочной теории.  
Дуальность Зайберга-Виттена. Монополи.

### **Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к экзамену:

Билет 1.

1. Общие сведения об ассоциативных алгебрах.
2. Супердетерминант.

Билет 2.

1. Алгебры Грассмана.
2. Супермногообразие.

Билет 3.

1. Система образующих грассмановой алгебры.
2. Суперсимметрия.

Билет 4.

1. Автоморфизм четности.
2. Суперсимметричные действия. Билет 5.

1. Автоморфизмы грассмановой алгебры.

2. Суперпространство.

Билет 6.

1. Антиавтоморфизмы грассмановой алгебры.
2. Дуальность Зайберга-Виттена.

Билет 7.

1. Факторалгебры грассмановой алгебры.
2. Алгебра суперсимметрий и ее представления.

Билет 8.

1. Подалгебры алгебры грассмановой алгебры.
2. Спонтанно нарушенная суперсимметрия.

Билет 9.

1. Четность.
2. Суперковариантные производные.

Билет 10.

1. Градуированное линейное пространство.
2. Супергруппа Пуанкаре.

Билет 11.

1. Функции со значениями в грассмановой алгебре.
2. Киральные суперполя.

Билет 12.

1. Грассмановы аналитические функции.
2. Суперпреобразование.

Билет 13.

1. Четные образующие алгебры функций со значениями в грассмановой алгебре.
2. Суперкиллингова форма.

Билет 14.

1. Нечетные образующие алгебры функций со значениями в грассмановой алгебре.



## 2. Суперполе.

Билет 15.

1. Суперпроизводная и ее свойства.
2. Векторные суперполя.

Билет 16.

1. Теорема о неявных функциях антикоммутирующих переменных.
2.  $N=1$  суперсимметричная калибровочная теория.

Билет 17.

1. Анализ функций антикоммутирующих переменных.
2. Низкоэнергетическое эффективное действие.

Билет 18.

1. Дифференцирование функций антикоммутирующих переменных.
2. Супералгебра Ли.

Билет 19.

1. Интегрирование функций антикоммутирующих переменных.
2.  $N=2$  суперсимметричная янг-миллсовская теория.

### 7.1. Основная литература:

1. Бернштейн, Лейтес Д.А., Шандер, Семинар по суперсимметриям, Т. 1. Алгебра и анализ. Основные факты, Под ред. Д. А. Лейтеса и с дополнениями В. В. Молоткова - М.: МЦНМО, 2011. - 410 с.

[http://rffi.molnet.ru/rffi/ru/books/o\\_491623](http://rffi.molnet.ru/rffi/ru/books/o_491623) (сайт РФФИ)

2. Березин Ф.А., Введение в суперанализ, Электронное издание, М.: МЦНМО, 2014, 432 с.  
<http://e.lanbook.com/view/book/56394/page2/>

3. Высоцкий М.И. Лекции по теории электрослабых взаимодействий. - М.: Физматлит, 2011. - 152 с.

<http://e.lanbook.com/view/book/2712/page3/> (издательство "Лань")

### 7.2. Дополнительная литература:

Теория относительности, гравитация и геометрия, Аминова, Ася Васильевна;Петров, Алексей Зиновьевич, 2010г.

Гравитация и астрофизика, Бескин, Василий Семенович, 2009г.

### 7.3. Интернет-ресурсы:

Архив электронных публикаций научных статей - [www.arxiv.org](http://www.arxiv.org)

Мир теории струн - <http://stringworld.ru/library/books-for-graduate>

Сайт кафедры теории относительности и гравитации -

<http://kpfu.ru/physics/struktura/kafedry/kafedra-teorii-otnositelnosti-i-gravitacii>,  
<http://old.kpfu.ru/f6/k6/index.php>

Электронная библиотека - <http://znanium.com/>, <http://eqworld.ipmnet.ru/indexr.htm>

Электронная библиотека механико-математического факультета Московского государственного университета - <http://lib.mexmat.ru/allbooks.php>

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Теория суперсимметрии" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "Znanium.com", доступ к которой предоставлен студентам. Сайт <http://stringworld.ru> содержит разделы "Струнная библиотека" и "Струнные веб-ресурсы", где также можно найти учебно-методическую литературу для данной дисциплины.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 03.04.02 "Физика" и магистерской программе Физика сложных систем .

Автор(ы):

Аминова А.В. \_\_\_\_\_

Аминова Ася Васильевна \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Таюрский Д.А. \_\_\_\_\_

Таюрский Дмитрий Альбертович \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.