МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
ядерной физики
_____/ Титова Л.В./
13.06.2025г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.ДВ.10.02 Великое объединение и суперсимметрии

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

14.03.02 Ядерные физика и технологии

2. Профиль подготовки/специализация:

Физика атомного ядра и частиц

3. Квалификация выпускника: бакалавр

4. Форма обучения: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:

кафедра ядерной физики

6. Составители программы:

д.ф.м.н., проф. Кадменский Станислав Георгиевич

7. Рекомендована:

Научно – методическим советом физического факультета, протокол №6 от13.06.2025

8. Учебный год: 2028/2029 **Семестр(ы):** 8

9.Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- освоение свойств четырех фундаментальных взаимодействий, их природы, их проявления как на уровне микромира (элементарных частиц), так и в космологических масштабах (эволюция Вселенной, формирование ее структуры);

Задачи учебной дисциплины:

- дать знания о понятиях Стандартной модели, Электрослабой теории, квантовой хромодинамики;
- научиться использовать методы, разработанные в области физики фундаментальных взаимодействий в научной деятельности.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина относится к вариативной частиц цикла Б1.В.ДВ. (Дисциплины по выбору).

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-1	Способен использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области.	ПК-1.2	Использует основные способы анализа состояния научно-технической проблемы путем подбора.	Знать: основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области. Уметь: использовать основные способы анализа состояния научно-технической проблемы путем подбора; проводить изучение и анализ литературных и патентных источников по тематике исследований Владеть: навыками пользования научной литературой и использования современных компьютерных технологий
		ПК-1.3	Проводит изучение и анализ литературных и патентных источников по тематике исследований.	

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час —3/108.

Форма промежуточной аттестации – зачет с оценкой.

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
			8 семестр
Аудиторные занятия		12	12
в том числе:	лекции		
	практические	12	12
	лабораторные		
Самостоятельная работа		96	96
в том числе: курсовая работа (проект)			
Контроль			
Форма промежуточной аттестации		Зачет с оценкой	Зачет с оценкой
Итого:		108	108

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
		1. Лекции	
1.1	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	-
1.2	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	-
1.3	Преобразования суперсимметрии. Алгебра суперсимметрии. N =1 суперсимметрия. Спонтанное нарушение суперсимметрии	Понятие суперсимметрии. Преобразования суперсимметрии. Компонентные поля. Вспомогательные поля. Генераторы суперсимметрии. Алгебра суперсимметрии. 2- и 4-компонентные спиноры. Грассмановы переменные. Суперпространство и суперполя. Супермультиплеты. Киральные и антикиральные суперполя. Векторные суперполя. Разложение по компонентным полям. Модель Весса–Зумино. Построение лагранжианов. Построение инвариантов из киральных, антикиральных и векторных полей. N =1 суперсимметричная теория Янга–Миллса с полями материи. Суперпотенциал. Скалярный потенциал в моделях с суперсимметрией. Спонтанное нарушение суперсимметрии. Механизм О'Райферти и механизм Файе-Илиопулоса	-
1.4	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. Массовые матрицы и смешивания. Уравнения ренорм-группы для параметров модели.	-
1.5	Бозоны Хиггса в суперсимметричных теориях	Хиггсовские бозоны в суперсимметричных теориях. Ограничения на массу легчайшего хиггсовского бозона. Радиационное нарушение электрослабой симметрии в МССМ. Спектр бозонов Хиггса в МССМ	-
1.6	Неминимальные суперсимметричные расширения Стандартной Модели	Модели с расширенным хиггсовским сектором. Модели с нарушенной R-четностью. Модели с различными механизмами нарушения суперсимметрии. Суперсимметричные теории Великого Объединения	-
1.7	Поиск суперсимметрии в неускорительных и ускорительных экспериментах	«Суперсимметричная» темная материя. Сравнение предсказаний суперсимметричных теорий с результатами по прямому детектированию темной материи. Поиск суперсимметрии в экспериментах на коллайдерах (Tevatron, LHC).	-

		Основные процессы рождения и каналы распадов суперпартнеров. Обсуждение последних результатов по эксперимателльному поиску суперсимметрии	
1.8	Понятие о расширенной суперсимметрии	Понятие о расширенной суперсимметрии. *N*=2 суперсимметричная теория Янга–Миллса. *N*=2 гипермультиплет. *N*=4 суперсимметричная теория Янга–Миллса.	-

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)					
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Контроль	Всего
1	Стандартная Модель фундаментальных взаимодействий	1			12		13
2	Пути решения проблем Стандартной Модели с помощью суперсимметрии	1			12		13
3	Преобразования суперсимметрии. Алгебра суперсимметрии. *N* =1 суперсимметрия. Спонтанное нарушение суперсимметрии	1			12		13
4	Минимальная суперсимметричная Стандартная Модель (MCCM)	1			12		13
5	Бозоны Хиггса в суперсимметричных теориях	2			12		14
6	Неминимальные суперсимметричные расширения Стандартной Модели	2			12		14
7	Поиск суперсимметрии в неускорительных и ускорительных экспериментах	2			12		14
8	Понятие о расширенной суперсимметрии	2			12		14
	Итого:	12			96		108

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Изложение материала преподавателем необходимо вести в форме, доступной для понимания. Для улучшения усвоения учебного материала необходимо применять традиционные и современные технические средства обучения. Для самостоятельного изучения отведено время на все разделы курса.

Студентам на лекциях необходимо вести подробный конспект и стараться понять материал курса, не стесняться задавать преподавателю вопросы для углубленного понимания конкретных проблем курса. Для полного понимания материала следует активно использовать консультации. Для самостоятельного изучения разделов курса, рекомендованных преподавателем, необходимо пользоваться основной и дополнительной литературой, интернет-ресурсами.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины *(список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)*

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Михайлов М. А. Ядерная физика и физика элементарных частиц: учебное пособие/ М. А.Михайлов.– М.: Прометей, 2013.– 25 с.
2	Михайлов М. А. Ядерная физика и физика элементарных частиц: учебное пособие : в 2-х ч, Ч. 1. Физика атомного ядра/ М. А.Михайлов.– М.: Прометей, 2011.– 94 с.
3	Свергузов А. Т. Концепции современного естествознания: учебное пособие/ А. Т.Свергузов.– Казань: Издательство КНИТУ, 2014.– 100 с.
4	Топильская Г. П. Физика межзвездной среды: учебное пособие/ Г. П.Топильская.– М., Берлин: Директ-Медиа, 2015.– 197 с.
5	Бухман Л. М.Концепции современного естествознания: учебное пособие, Ч. 1. Физика и астрономия/ Л. М.Бухман , Н. С.Бухман .– Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2012.– 104 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
6	Весс Ю. Суперсимметрия и супергравитация / Ю. Весс, Д. Беггер. – М.: Мир, 1986. – 179 с.
7	Вайнберг С. Квантовая теория поля / С. Вайнберг. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 648 с.
8	Уэст П. Введение в суперсимметрию и супергравитацию / П. Уэст.– М.: Мир, 1989. – 328 с.
9	Sohnius M. Introducing supersymmetry / M. Sohnius // Phys. Rept. – 1985. – V. 128 – P. 39.
10	Drees M. Theory and Phenomenology of Sparticles / M. Drees, R.M. Godbole, P. Roy. – Singapore: World Scientific, 2005. – 584pp.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)***:**

№ п/п	Ресурс
	www.lib.vsu.ru – ЗНБ ВГУ
	https://edu.vsu.ru – Электронный университет ВГУ

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы *(учебно-методические рекомендации, пособия, задачники, методические указания по выполнению практических (контрольных), курсовых работ и др.)*

№ п/п	Источник
1	Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов направления 14.03.02. Ядерные физика и технологии, - Вахтель В.М., Титова Л.В. – ВГУ. 2018. – 17 с.

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

При проведении занятий по дисциплине используются следующие образовательные технологии:

− активные и интерактивные формы проведения занятий;

− компьютерные технологии при проведении занятий:

− презентационные материалы и технологии при объяснении материала на лекционных и практических занятиях;

− специализированное оборудование при проведении лабораторных работ;

− разбор конкретных ситуаций при постановке целей и задач к разработке прикладных программ, при выборе программного обеспечения по установленным критериям, при разработке программ по предусмотренным алгоритмам и методам

Для самостоятельной работы используется ЭБС Университетская библиотека online - www.lib.vsu.ru - ЗНБ ВГУ. Программное обеспечение, применяемое при реализации дисциплины – Microsoft Windows, LibreOffice, CodeBlocks, Adobe Reader, Mozilla FireFox.

Дистанционные образовательные технологии (ДОТ) применяются с использованием образовательного портала «Электронный университет ВГУ».

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Большая физическая аудитория им. М.А. Левитской (для проведения занятий лекционного типа, текущего контроля и промежуточной аттестации) Специализированная мебель, ноутбук 15,6" DNS (0164925), проектор EPSON EB-X11, переносной экран для проектора на штативе SceenMedia Apllo-T Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019. LibreOffice (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: https://www.libreoffice.org/about-us/licenses/) Adobe Reader (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: https://get.adobe.com/ru/reader/ legal/licenses)	г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.I, ауд. 428
Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования Ноутбук 15,6" DNS (0164925), проектор EPSON EB-X11, переносной экран для проектора на штативе SceenMedia Apllo-T	г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.I, ауд. 31
Аудитория для самостоятельной работы, компьютерный класс с доступом к сети «Интернет»: компьютеры (мониторы, системные блоки) (15 шт.)	г. Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.I, ауд. 313а

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетен-ция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Стандартная Модель фундаментальных взаимодействий	ПК-1	ПК-1.2 ПК-1.3	Устный опрос, собеседование по билетам к зачету
2.	Пути решения проблем Стандартной Модели с помощью суперсимметрии			
3.	Преобразования суперсимметрии. Алгебра суперсимметрии. *N* =1 суперсимметрия. Спонтанное нарушение суперсимметрии	ПК-1	ПК-1.2 ПК-1.3	Устный опрос, собеседование по билетам к зачету
4.	Минимальная суперсимметричная Стандартная Модель (МССМ)			
5.	Бозоны Хиггса в суперсимметричных теориях			
6.	Неминимальные суперсимметричные расширения Стандартной Модели			
7.	Поиск суперсимметрии в неускорительных и ускорительных экспериментах			
8.	Понятие о расширенной суперсимметрии			
Промежуточная аттестация форма контроля – зачет с оценкой				Пункт 20.2.1 Вопросы к зачету

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Устный опрос

Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Критерии оценивания компетенций	*Уровень сформированности компетенций*	Шкала оценок
Полное знание учебно-программного материала на уровне количественной характеристики. Способность самостоятельно ответить на дополнительные корректирующие вопросы преподавателя.	*Повышенный уровень*	Отлично
Знание основного программного материала на основе качественной характеристики, допускающее погрешности в ответах. Способность самостоятельно ответить на дополнительные корректирующие вопросы преподавателя.	*Базовый уровень*	Хорошо
Знание основного программного материала на основе качественной характеристики, допускающее погрешности в ответах. Способность скорректировать ответ под руководством преподавателя.	*Пороговый уровень*	Удовлетворительно
Не знание основного программного материала. Неспособность скорректировать ответ под руководством преподавателя.	–	Неудовлетворительно

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Собеседование по билетам к зачету

20.2.1. Перечень вопросов к зачету:

1. Преобразования суперсимметрии. Компонентные поля. Вспомогательные поля.
2. Генераторы суперсимметрии.
3. Алгебру суперсимметрии.
4. Двух- и четырех-компонентные спиноры.
5. Грассмановы переменные.
6. Суперпространство и суперполя. Супермультиплеты.
7. Киральные и антикиральные суперполя.
8. Модель Весса-Зумино.
9. Векторные суперполя.
10. Калибровку Весса-Зумино.
11. Лагранжиан N=1 суперсимметричной теории Янга-Миллса.
12. Лагранжиан N=1 суперсимметричной теории Янга-Миллса с полями материи.
13. Суперпотенциал.
14. Скалярный потенциал в моделях с суперсимметрией.

15. Механизм О'Райферти.
16. Механизм Файе-Илиопулоса.
17. МССМ – Минимальная суперсимметричная Стандартная Модель.
18. R-четность.
19. Нарушение суперсимметрии в МССМ. Параметры мягкого нарушения суперсимметрии.
20. Массовые матрицы и смешивания.
21. Уравнения ренормгруппы для параметров модели.
22. Ограничения на массу легчайшего хиггсовского бозона в МССМ.
23. Радиационное нарушение электрослабой симметрии в МССМ.
24. Спектр бозонов Хиггса в МССМ.
25. Теоретические и экспериментальные органичения на значения параметров МССМ.
26. Модели с расширенным хиггсовским сектором.
27. Модели с нарушенной R-четностью.
28. Модели с различными механизмами нарушения суперсимметрии.
29. Суперсимметричные теории Великого Объединения.
30. Основные процессы рождения и каналы распадов суперпартнеров.
31. Последние результаты по эксперимeтальному поиску суперсимметрии.
32. N=2 суперсимметричная теория Янга-Миллса. N=2 гипермультиплет.
33. N=4 суперсимметричная теория Янга-Миллса.

Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Критерии оценивания компетенций	*Уровень сформированности компетенций*	Шкала оценок
Полное знание учебно-программного материала на уровне количественной характеристики. Способность самостоятельно ответить на дополнительные корректирующие вопросы преподавателя.	*Повышенный уровень*	Отлично
Знание основного программного материала на основе качественной характеристики, допускающее погрешности в ответах. Способность самостоятельно ответить на дополнительные корректирующие вопросы преподавателя.	*Базовый уровень*	Хорошо
Знание основного программного материала на основе качественной характеристики, допускающее погрешности в ответах. Способность скорректировать ответ под руководством преподавателя.	*Пороговый уровень*	Удовлетворительно
Не знание основного программного материала. Неспособность скорректировать ответ под руководством преподавателя.	–	Неудовлетворительно