БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
и образовательным инновациям
_____ О.И.Чуприс
«12» декабря 2019 г.
Регистрационный № УД-7643 /уч.

Физика высоких энергий

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:

1-31 80 05 Физика

2019 г.

Учебная программа составлена на основе Образовательного стандарта ОСВО 1-31 80 05-2019, учебного плана №G31-062/уч. от 11.04.2019 г.

СОСТАВИТЕЛЬ:

К.Г.Батраков — доцент кафедры ядерной физики Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, доцент

РЕЦЕНЗЕНТ:

В.В.Тихомиров - заведующий лабораторией ядерной оптики и космомикрофизики НИИ ЯП БГУ, доктор физико-математических наук, профессор

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой ядерной физики
физического факультета БГУ
(протокол № 15 от 27.06.2019 г.)

Научно-методическим Советом БГУ
(протокол № 5 от 28.06.2019 г.)

Заведующий кафедрой _____ ___А.И. Тимощенко_____
подпись Ф.И.О.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины – освоение студентами систематических знаний в области физики высоких энергий: способу построения лагранжианов полей на основе теории представлений, соответствующих группам симметрий Лоренца и Пуанкаре, способу определения вида взаимодействия полей на основе калибровочной (локальной) инвариантности и генерации масс путем спонтанного нарушения симметрии, целью является также освоение элементов фейнмановской диаграммной техники

Задачи учебной дисциплины:

1. Сформировать основные понятия, положения и концепции дисциплины физики высоких энергий.
2. Сформировать понятия о методах математического описания в физике высоких энергий.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием (магистра).

Учебная дисциплина входит в Модуль «Физика элементарных частиц», является дисциплиной по выбору компонента учреждения высшего образования.

Связи с другими учебными дисциплинами, включая учебные дисциплины компонента учреждения высшего образования, дисциплины специализации и др.

Учебная дисциплина «Физика высоких энергий» основана на знаниях и представлениях, заложенных в следующих дисциплинах: «Физика ядра и элементарных частиц».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Физика высоких энергий» должно обеспечить формирование следующей **специализированной компетенции**.

СК-8. Быть способным применить непертурбативные методы для решения уравнений квантовой теории.

СК-13.Быть способным использовать математический аппарат и теоретический формализм для решения проблем физики высоких энергий, проводить оценку и планирование экспериментов, направленных на проверку Стандартной Модели и поиск явлений, выходящих за ее рамки.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать: основные современные понятия и методы вычислений в Стандартной модели; основные непрерывные симметрии, соответствующие им группы Ли, принципы построения лагранжианов свободных полей и их взаимодействий.

уметь: анализировать изучаемые процессы распада (рассеяния), ставить им в соответствие фейнмановские диаграммы, производить оценку и вычислять вероятности процессов, соответствующие диаграммам первого и второго порядков.

владеть:

- методами расчета амплитуд и вероятностей фундаментальных процессов.

- методами применения глобальных и локальных симметрий при построении лагранжианов фундаментальных взаимодействий.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается во 2 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «**Физика высоких энергий**» отведено:

– для очной формы получения высшего образования – 90часов, в том числе 48 аудиторных часов, из них: лекции – 34 часа, семинарские занятия – 10 часов, управляемая самостоятельная работа (УСР)– 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1.
Введение

Тема 1.1 Введение в дисциплину.
Основные представления: понятие частиц и их взаимодействия. Виды взаимодействия. Короткодействующие и дальнодействующие силы. Лептоны и кварки. Характерные времена и расстояния взаимодействия. Естественные единицы измерения в физике высоких энергий

Раздел 2.
Основные принципы лежащие в основе теории фундаментальных полей и их взаимодействий в физике высоких энергий

Тема 2.1. Лагранжианы и уравнения для полей.
Лагранжиан и уравнения движения Эйлера для основных типов полей: скалярных, векторных и дираковских.

Тема 2.2. Непрерывные симметрии.
Симметрия относительно непрерывных преобразований и следствия из нее. Группы Ли, генераторы, алгебра и представления групп Ли.

Тема 2.3. Основные группы симметрий в физике частиц.
Группа Лоренца и группа Пуанкаре, их представления. Унитарные группы и их представления.

Тема 2.4.Локальная инвариантность и калибровочные бозоны.
Способ введения калибровочных полей для реализации локальной инвариантности, удлиненные (ковариантные) производные.

Тема 2.5.Вторичное квантование бозонных и фермионных полей.
Проблема отрицательных энергий в спектре свободных классических полей. Решение проблемы отрицательных энергий путем вторичного квантования полей, связь спина со статистикой (коммутация для бозонных операторов и антикоммутация для фермионных).

Раздел 3.
Стандартная модель и ее следствия.

Тема 3.1.Лагранжиан стандартной модели.

Применение математического аппарата и принципа локальной инвариантности дляSU(2)xU(1) симметрии при построении лагранжиана взаимодействия. Левые изодублеты и правые изосинглеты. Электрослабое смешивание.

Тема 3.2.Смешивание кварков.
Проблема описания распадов s и b кварков, угол Кабибо, матрица Кобаяши-Маскава.

Тема 3.3. Дискретные симметрии.
Инвариантность и нарушения относительно основных дискретных преобразований в Стандартной модели. Пространственная, зарядовая четность, комбинированная четность, обращение времени. CPT инвариантность.

Тема 3.4.Обзор основных принципов построения современных теорий в физике высоких энергий.
Суперсимметричные модели и теория струн.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	**Введение**	**2**						
1.1	**Введение в дисциплину**	2						Устный опрос
2	**Основные принципы лежащие в основе теории фундаментальных полей и их взаимодействий в физике высоких энергий**	**18**						
2.1	**Лагранжианы и уравнения для полей**. Лагранжиан и уравнения движения Эйлера для основных типов полей: скалярных, векторных и дираковских.	2		4				Устный опрос
2.2	**Непрерывные симметрии.** Симметрия относительно непрерывных преобразований и следствия из нее.Группы Ли, генераторы, алгебра и представления групп Ли.	4						Устный опрос

2.3	**Основные группы симметрий в физике частиц.** Группа Лоренца и группа Пуанкаре, их представления. Унитарные группы иих представления.	4		2				Устный опрос письменный опрос в начале семинара
2.4	**Локальная инвариантность и калибровочные бозоны.** Способ введения калибровочных полей для реализации локальной инвариантности, удлиненные (ковариантные) производные.	2						Устный опрос
2.5	**Вторичное квантование бозонных и фермионных полей.** Проблема отрицательных энергий в спектре свободных классических полей. Решение проблемы отрицательных энергий путем вторичного квантования полей, связь спина со статистикой (коммутация для бозонных операторов и антикоммутация для фермионных).	4						Устный опрос Групповое задание
2.6	**Спонтанное нарушение симметрии и механизм генерации масс Хиггса.** Проблема масс частиц (нарушения локальной инвариантности при стандартном введении массы в лагранжиан). Генерация масс за счет механизма спонтанного нарушения симметрии для фундаментальных фермионов (кварков и лептонов) и векторных бозонов (переносчиков взаимодействия).	2						Устный опрос

3	**Стандартная модель и ее следствия.**	**14**						
3.1	**Лагранжиан Стандартной модели.** Использование математического аппарата SU(2)xU(1) симметрии и принципа локальной инвариантности для написания Лагранжиана взаимодействия. Левые изодублеты и правые изосинглеты. Электрослабое смешивание.	4		4				Устный опрос Групповое задание
3.2	**Смешивание кварков.** Проблема описания распадов si bкварков, угол Кабибо, матрица Кобаяши-Маскава.	2						Устный опрос .
3.3	**Дискретные симметрии.** Инвариантность и нарушения относительно основных дискретных преобразований в Стандартной модели. Пространственная, зарядовая четность, комбинированная четность, обращение времени. CPT инвариантность.	4						Устный опрос письменный опрос в начале семинара
3.4	**Обзор основных принципов построения современных теорий в физике высоких энергий.** Суперсимметрия и теория струн.	4					4	Устный опрос письменный в начале лекции.
	ИТОГО	**34**		**10**			**4**	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Окунь Л.Б. Лептоны и кварки, Наука, 1990, 304 с.
2. Кейн Г. Современная физика элементарных частиц, Мир, 1990, 365 с.
3. Берестецкий В.Б., Лифшиц Б.М., Питаевский Л.П. Теоретическая физика, т.4 Квантовая электродинамика, 2002, 720 с.
4. Хуанг К. Кварки и лептоны. "Мир". 1984, 382 с.
5. Бояркин О.М., Введение в физику элементарных частиц, М.: УРСС, 2006, 264 с.
6. Емельянов В.М.Стандартная модель и ее расширения, М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007, 584 с.

Перечень дополнительной литературы

1. Окунь Л.Б. «Физика элементарных частиц», Наука, 1988, 272 с.
2. Индурайн Ф. Квантовая хромодинамика. Москва "Мир", 1986,256 с.
3. Грин. М,, Шварц Дж, Виттен Э.Теория суперструн. . Москва "Мир", 1990, 518 с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Формой аттестации по дисциплине «Физика высоких энергий» учебным планом предусмотрен экзамен.

При формировании итоговой оценки используется рейтинговая оценка знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения.

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуются устные опросы и групповые задания (технологии проблемного обучения: методики работы в группах).

При оценке текущего контроля учитывается: посещение занятий и ответы:

- участие в семинарах
- результаты устных опросов
- результаты письменных опросов
- самостоятельная работа студентов.

Оценка на экзамене и оценка текущей успеваемости служат для определения рейтинговой оценки по дисциплине, которая рассчитывается как средневзвешенная оценка текущей успеваемости и оценки, полученной на экзамене. Рекомендуемые весовые коэффициенты для оценки текущей успеваемости — 0.3; для итогового контроля (оценки на экзамене) — 0,7.

Оценка текущего контроля формируется

Оценка за активное участие в учебном процессе и посещение занятий	Количество баллов
Все занятия	Максимальный балл - 25
Не менее 75%	14
Не менее 50%	10
Не менее 25%	4
Участие в семинаре	15

*Выступление на конференциях по плану мероприятий факультета

Количество баллов	Оценка (T_T)	Количество баллов	Оценка (T_T)
0	0		
2	1	40,0	6
5	2	60,0	7
7	3	80,0	8
10	4	90,0	9
20,0	5	100,0	10

В случае неявки на семинар по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить нагрузку в дополнительное время.

Рейтинговая оценка $T_P = T_T \cdot 0,3 + T_И \cdot 0,7$

где $T_И$ – оценка итогового контроля

$T_P \geq 4$ считается положительной оценкой.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Тема № 1. Элементы суперсимметрии

Тема № 2 Теории с дополнительными измерениями. Струны, мембраны.

Студенты должны сделать обзор и усвоить общие идеи: какие задачи призваны решить в физике суперсимметрия и струнная теория, отметить их достижения и нерешенные проблемы, иметь представление о попытках экспериментального обнаружения суперчастиц и поиска дополнительных измерений на современных ускорителях.

Форма контроля: устный опрос.

Примерная тематика семинарских занятий.

Семинар № 1. **Тема 2.1. Лагранжианы и уравнения для полей**.
Лагранжиан и уравнения движения Эйлера для основных типов полей: скалярных, векторных и дираковских.*(2 часа).*

Семинар № 2. **Тема 2.1. Лагранжианы и уравнения для полей**.
Свойства решений уравнения Дирака. *(2 часа).*

Семинар № 3.**Тема 2.3. Основные группы симметрий в физике частиц.**
Группа Лоренца и группа Пуанкаре, их представления. Унитарные группы и их представления.(2 часа).

Семинар № 4.**Тема 3.1.** Л**агранжиан Стандартной модели.**
Разбор основных процессов взаимодействия и распадов фундаментальных частиц, следующих из вида Лагранжиана взаимодействия Стандартной модели. (2 часа).

Семинар № 5.**Тема 3.1.** Л**агранжиан Стандартной модели.**
Оценка ширин распада Wи Zбозонов, времени жизни мюона. Расчет времени жизни заряженного пи-мезона. (2 часа).

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется ***метод проектного обучения,*** который предполагает***:***

- способ организации учебной деятельности студентов, развивающий актуальные для учебной и профессиональной деятельности навыки планирования, самоорганизации и сотрудничества;

- приобретение навыков для решения исследовательских, творческих, социальных, предпринимательских и коммуникационных задач.

При организации образовательного процесса используется ***метод группового обучения,*** который представляет собой форму организации учебно-познавательной деятельности обучающихся, предполагающую функционирование разных типов малых групп, работающих как над общими, так и специфическими учебными заданиями.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Основными направлениями самостоятельной работы студента являются:

- подробное ознакомление с программой учебной дисциплины;
- ознакомление со списком рекомендуемой литературы по дисциплине в целом и ее разделам;
- изучение и расширение лекционного материала преподавателя за счет специальной литературы;
- подготовка к семинарским занятиям;
- подготовка к выполнению групповых заданий в виде решения отдельных задач, проведения типовых расчетов;
- изучением основной и дополнительной литературы;
- подготовка к экзамену.

Перечень вопросов к экзамену

1. Понятие об элементарных и фундаментальных частицах.
2. Естественная система единиц.
3. Три поколения элементарных частиц.
4. Группа SU_2 и ее представления.
5. Скалярное, векторное и дираковское поле.
6. SU_3группа цветовой симметрии.
7. Спонтанное нарушение симметрии. Механизм Хиггса генерации масс частиц.
8. Глобальные группы внутренней симметрии.
9. Калибровочная инвариантность и калибровочные поля.
10. Теорема Нетер. Сохраняющиеся токи.
11. Переносчики взаимодействий в стандартной модели и КХД.
12. Нарушение пространственной четности в стандартной модели. Левые и правые токи.

13. Угол электрослабого смешивания.

14. Вывод отношения масс заряженных $W^{\pm}$ и Z^{o} бозонов.

15. Угол Кабибо, распад тяжелых кварков.

16. Слабые нейтральные токи. Отношение вероятностей распада Z бозонов в разные моды.

17.Лагранжиан стандартной модели. Лептонный и кварковый сектор первого поколения.

18. Матрица Кобаяши-Маскава.

19. Распад мюона.

20. Связь вида унитарной симметрии с количеством генераторов и количеством калибровочных бозонов.

21. Заряженные токи в электрослабой модели.

22. Расчет вероятности распада заряженного пиона.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Ускорители заряженных частиц	Кафедра ядерной физики	нет	Оставить без изменений (протокол № 15 от 27.06.2019 г.)

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

на _____/_____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры ядерной физики
(протокол № от г.)

Заведующий кафедрой
ядерной физики
к.ф.-м.н., доцент _____ А.И. Тимощенко

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета БГУ
к.ф.-м.н., доцент _____ М.С. Тиванов