

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям

О.Н.Здрок
«» 2020 г.

Регистрационный № УД-8795уч.

ФИЗИКА ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Учебная программа учреждения высшего образования

по учебной дисциплине для специальности

1-31 04 01 Физика (по направлениям),

направление специальности

1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность)


Минск 2020 г.

Учебная программа составлена на основе Образовательного стандарта ОСВО 1-31 04 01-2013, утвержденного и введенного в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 30.08. 2013 № 88; учебных планов №G31-214/уч., №G31и-215/уч. от 20.02.2018 и №G31-163/уч., №G31и-174/уч. от 30.05.2013.

СОСТАВИТЕЛЬ:

Т.В. Шишкина — профессор кафедры теоретической физики и астрофизики Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор.

РЕЦЕНЗЕНТ:

Ю.А. Курочкин – заведующий Центром «Фундаментальные взаимодействия и астрофизика» Государственного научного учреждения «Институт физики имени Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларуси», доктор физико-математических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой теоретической физики и астрофизики Белорусского государственного университета
(протокол № 11 от 14.05.2020 г.);

Советом физического факультета Белорусского государственного университета
(протокол № 11 от 04.06.2020);

Заведующий кафедрой теоретической
физики и астрофизики
д. ф.-м. н., профессор



А.Н. Фурс

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа учебной дисциплины “Физика высоких энергий” разработана для специальности 1-31 04 01 Физика, направления специальности 1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность).

Цели и задачи учебной дисциплины

Целью является обучение студентов основам квантовой теории поля, развитие полученных знаний применительно к основным видам полей, определяющих взаимодействие при предельно высоких современных энергиях частиц и ядер в современных экспериментах: электромагнитному, слабому и сильному; а также привитие навыков расчета и последующего анализа дифференциальных сечений, полных сечений, вероятностей распада, асимметрий и других экспериментально измеряемых величин.

Изучение взаимодействий элементарных частиц, как теоретическое, так и экспериментальное, представляет собой главный источник информации о структуре вещества и определяющих чертах основных типов взаимодействий. В курсе подробно излагается формализм S -матрицы, метод диаграмм Фейнмана для расчета ряда процессов электромагнитного и слабого взаимодействий, рассматривается метод вычисления матричных элементов ряда классических процессов рассеяния элементарных частиц, каждый из которых изучается достаточно подробно.

Большое место занимает исследование кинематики различных видов взаимодействия частиц, получение и анализ соответствующих дифференциальных сечений. Особое внимание уделяется рассмотрению процессов лептон-нуклонного рассеяния, а также образования в адрон-адронных соударениях лептонных пар и промежуточных векторных бозонов с последующим изучением каналов их распада. Используется как феноменологический подход, так и кварк-партонное приближение.

Задачей изучения учебной дисциплины является

1. изучение взаимодействий элементарных частиц при сверхвысоких энергиях, как теоретическое, так и экспериментальное;
2. изучение формализм S -матрицы для разных типов взаимодействия;
3. изучение методов выполнения ковариантных вычислений;
4. расчет матричных элементов S -матрицы для различных каналов рассеяния элементарных частиц;
5. расчет дифференциальных и полных сечений рассеяния;
6. изучение методов выполнения ковариантных вычислений;
7. исследование кинематики различных видов взаимодействия частиц.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина относится к **циклу** дисциплин специализации (компонент учреждения высшего образования).

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

Материал курса основан на базовых знаниях и представлениях, заложенных в следующих курсах: «Физика ядра и элементарных частиц», «Электродинамика», «Квантовая механика» и является базой при изучении дисциплины «Фундаментальные физические взаимодействия».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Физика высоких энергий» должно обеспечить формирование следующих академических, социально-личностных и профессиональных компетенций:

академические компетенции:

- АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.
- АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.
- АК-3. Владеть исследовательскими навыками.
- АК-4. Уметь работать самостоятельно.
- АК-5. Быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью).
- АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.
- АК-6. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.
- АК-8. Обладать навыками устной и письменной коммуникации.
- АК-9. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

социально-личностные компетенции:

- СЛК-2. Быть способным к социальному взаимодействию.
- СЛК-3. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.
- СЛК-5. Быть способным к критике и самокритике.
- СЛК-6. Уметь работать в команде.

профессиональные компетенции:

- ПК-1. Применять знания теоретических и экспериментальных основ физики, современных технологий и материалов, методы исследования физических объектов, методы измерения физических величин, методы автоматизации эксперимента.
- ПК-2. Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационные образовательные технологии, физические основы современных технологических процессов, научное оборудование и аппаратуру.
- ПК-3. Проводить планирование и реализацию физического эксперимента, оценивать функциональные возможности сложного физического оборудования.
- ПК-4. Пользоваться глобальными информационными ресурсами, компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, системами автоматизированного программирования, научно-технической и патентной литературой.

– ПК-5. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиям, проектам и решениям.

–ПК-6. Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно- исследовательской, научно-производственной и научно-педагогической работы.

– ПК-15. Применять знания физических основ современных технологий, средств автоматизации, методов планирования и организации производства, правового обеспечения хозяйственной деятельности и налоговой системы, современного предпринимательства, государственного регулирования экономики и экономической политики.

В результате изучения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- теоретические основы различных типов взаимодействия элементарных частиц при предельно высоких энергиях;
- методы выполнения ковариантных вычислений при расчете матричных элементов и экспериментально измеряемых величин;
- методы вычислений матричных элементов S-матрицы для различных каналов рассеяния элементарных частиц;
- методы расчета дифференциальных и полных сечений рассеяния, кинематику различных видов взаимодействия частиц.

уметь:

- рассчитывать матричные элементы S-матрицы для различных каналов рассеяния элементарных частиц;
- выполнять ковариантных вычисления;
- вычислять экспериментально измеряемые величины: дифференциальных и полных сечений рассеяния.

владеть:

- методами физики высоких энергий, используемыми для расчета физических величин, измеряемых в экспериментах;
- приемами расчет матричных элементов S-матрицы для различных каналов рассеяния элементарных частиц;
- методами расчета дифференциальных и полных сечений рассеяния.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 9 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Физика высоких энергий» отведено:

– для очной формы получения высшего образования – 116 часов, в том числе 50 аудиторных часов, из них: лекции – 36 часов, управляемая самостоятельная работа – 14 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Формы текущей аттестации по учебной дисциплине — зачет, экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Теория квантованных полей.

Квантование скалярного вещественного поля. Квантование скалярного комплексного поля. Квантование спинорного (дираковского) поля. Квантование электромагнитного поля. Квантование векторного поля. Основные закономерности квантования полей элементарных частиц.

Тема 2. Нормальное и хронологическое произведение операторов.

Пропагатор скалярного поля. Пропагатор спинорного поля. Пропагатор векторного поля. Теорема Вика.

Тема 3. Диаграммная техника Фейнмана.

Рассеяние электронов внешним полем. Процесс электрон-позитронной аннигиляции. Процесс электрон-позитронного рассеяния с рождением фермион-антифермионной пары. Правила Фейнмана.

Тема 4. Методы вычисления основных величин, измеряемых экспериментально.

Кинематические закономерности реакций взаимодействия и распада элементарных частиц. Вероятность распада. Сечение рассеяния. Резонансы. Нерезонансный фон.

Тема 5. Феноменология различных типов взаимодействия элементарных частиц.

Электромагнитное взаимодействие (лагранжиан, основные процессы, экспериментальный статус). Сильное взаимодействие (КХД, $SU(3)$, асимптотическая свобода, лагранжиан взаимодействия, экспериментальный статус). Слабое взаимодействие (неперенормируемость, экспериментальный статус).

Тема 6. Теория электрослабого взаимодействия Вайнберга-Салама.

Лагранжиан электрослабого взаимодействия, нелинейность, неабелевость. Калибровочная группа $SU(2)*U(1)$.

Тема 7. Неминимальные модели электрослабого взаимодействия.

Основные направления расширения калибровочной группы электрослабого взаимодействия. Экспериментальный статус и перспективы поиска проявлений неминимальных калибровочных моделей.

Тема 8. Основные направления и перспективы развития физики элементарных частиц.

Перспективы Великого объединения. Перспективы суперобъединения.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
 Дневная форма получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Теория квантованных полей.	6					2	учебная дискуссия
2	Нормальное и хронологическое произведение операторов	6					2	коллоквиум
3	Диаграммная техника Фейнмана.	4					2	контрольная работа
4	Методы вычисления основных величин, измеряемых экспериментально	4					2	коллоквиум
5	Феноменология различных типов взаимодействия элементарных частиц.	4					2	учебная дискуссия
6	Теория электрослабого взаимодействия Вайнберга-Салама	4					2	реферативные работы
7	Неминимальные модели электрослабого взаимодействия.	4					2	реферативные работы
8	Основные направления и перспективы развития физики элементарных частиц.	4						
	Итого	36					14	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Боголюбов, Н.Н. Квантованные поля / Н.Н. Боголюбов, Д.В. Ширков. – М.: Наука, – 1980. – 326с.
2. Биленький, С.М. Введение в диаграммную технику Фейнмана / С.М.Биленький. — М.: Энергоатомиздат, 1990 — 287с.
3. Д.Бьеркен, Дж. Релятивистская квантовая теория. Т.1 / Дж. Д.Бьеркен, С.Д.Дрелл. – М.: Наука, – 1978. – 397с.
4. Коллинз, Дж. Перенормировка. / Дж. Коллинз. – М.: Наука, – 1988. – 258с.
5. Райдер, Л. Квантовая теория поля. / Л. Райдер. – М.: Наука, – 1987. – 186с.
6. Шишкина, Т.В. Физика элементарных частиц / Т.В. Шишкина, Н.М. Шумейко. – Мн.: БГУ, – 2002. – 112с.
7. Шишкина, Т.В. Рассеяние микрочастиц / Т.В. Шишкина. – Мн.: БГУ, – 2008. – 96с.
8. Вигнер, Е. Теория групп / Е. Вигнер. — М.: Изд-во иностр. лит., 1961. — 444 с.
9. Shishkina, T.V. Radiative effects in processes of polarized fermions . annihilation / T.V. Shishkina, U. U. Khasianevich // Nonlinear Phenomena in Complex System— 2017. — V.20. P. 182–193.
10. Shishkina, T.V. The possibility of Standard Model test and it expansion on base of massive boson production in e-interaction // T.V.Shishkina, I.A. Shershan // Proceedings of XXIV International Conference: Nonlinear Phenomena in Complex Systems. 2017, Minsk, Belarus .— P. 217—233.
11. Shishkina, T.V. Radiative Effects in Processes of Electron-Positron Annihilation into Lepton Pairs // T.V.Shishkina, U. U. Khasianevich // Proceedings of XXIV International Conference: Nonlinear Phenomena in Complex Systems. 2017, Minsk, Belarus .— P. 261—268.
12. Shishkina, T.V. The importance of radiative effects consideration in different parts of kinematical region of photons and leptons interaction on modern linear colliders / T.V.Shishkina // Proceedings of XXIV International Conference: Nonlinear Phenomena in Complex Systems. 2017, Minsk, Belarus .— P. 123—127.
13. Khasianevich, U.U. Radiative effects in processes of electron-positron annihilation into lepton pairs / U.U. Khasianevich, T.V. Shishkina // Nonlin. Phen. Compl. Sys. – 2017. – Vol. 20, – 4.– P. 368-373.

Перечень дополнительной литературы

14. Биленький, С.М. Лекции по физике нейтринных и лептон-нуклонных процессов / С.М.Биленький. — М.: Энергоатомиздат, 1981 — 264с.

15. Хуанг, К. Кварки, лептоны и калибровочные поля / К.Хуанг. – М.: Наука, – 1985. – 338с.
16. Нелипа, Н.Ф. Физика элементарных частиц / Н.Ф.Нелипа. – М.: МГУ, – 1977. – 436с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать коллоквиумы, контрольные работы, а также защиту реферативных работ.

Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные мероприятия, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

Коллоквиумы проводятся в письменной форме и включают в себя от 2 до 5 заданий. Каждое задание в соответствии с его сложностью оценивается от 2 до 3 баллов (максимальная сумма баллов за все задачи в контрольной работе равна 10). Количество баллов за каждое выполненное задание выставляется в зависимости от правильности и полноты ответа. Невыполненное задание оценивается в 0 баллов. Оценка за коллоквиум рассчитывается как сумма баллов, полученных за каждое задание.

Контрольные работы проводятся в письменной форме и включают в себя от 2 до 5 задач. Каждая задача в соответствии с ее сложностью оценивается от 2 до 3 баллов (максимальная сумма баллов за все задачи в контрольной работе равна 10). Количество баллов за каждую решенную задачу выставляется в зависимости от правильности, полноты и оригинальности ее решения. Нерешенная или решенная полностью неправильно задача оценивается в 0 баллов. Оценка за контрольную работу рассчитывается как сумма баллов, полученных за каждую задачу.

Защита реферативных работ проводится в форме индивидуальных выступлений-презентаций с последующей дискуссией. При оценивании реферата (доклада) обращается внимание на: актуальность описываемой проблемы, содержание и полноту раскрытия темы, структуру и последовательность изложения, источники и их интерпретацию, корректность оформления. Оценка рефератов проводится по десятибалльной шкале. По согласованию с преподавателем на контрольных мероприятиях разрешается использовать справочные научные и учебные печатные издания, а также электронные ресурсы.

Оценка текущей успеваемости рассчитывается как среднее оценок за каждое контрольное мероприятие. При оценке текущей успеваемости 4

балла и более студенты допускаются к зачету. При оценке ниже 4 баллов решением кафедры студенты не допускаются к зачету, и им назначается срок выполнения контрольных мероприятий.

Текущая аттестация по учебной дисциплине проводится в форме зачета и экзамена.

Экзаменационная оценка и оценка текущей успеваемости служат для определения рейтинговой оценки по дисциплине, которая рассчитывается как средневзвешенная оценка текущей успеваемости и экзаменационной оценки. Весовой коэффициент для оценки текущей успеваемости — 0,4; для экзаменационной оценки — 0,6.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется *практико-ориентированный* подход, который предполагает:

- освоение содержание образования через решения практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов;
- использованию процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций.

При организации образовательного процесса используется также *метод учебной дискуссии*, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме.

Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемой темы, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

Тема 1. Теория квантованных полей.

Сравнительный анализ квантования полей нейтральных и заряженных частиц. Построение теории квантования полей слабых заряженных бозонов

Форма контроля – учебная дискуссия

Тема 2. Нормальное и хронологическое произведение операторов.

Расчет пропагатора нейтрального спинорного поля. Расчет пропагатора заряженных бозонов Применение теоремы Вика к смешанному произведению операторов.

Форма контроля – коллоквиум.

Тема 3. Диаграммная техника Фейнмана. Вероятность перехода. Сечение рассеяния.

Сравнительный анализ рассеяния по электромагнитному и электрослабому каналам. Изучение правил Фейнмана для всех типов взаимодействий.

Форма контроля – контрольная работа.

Тема 4. Методы вычисления основных величин, измеряемых экспериментально.

Получение выражений дифференциальных и полных сечений, а также вероятности распада в лоренц-инвариантной форме.

Форма контроля – коллоквиум.

Тема 5. Феноменология различных типов взаимодействия элементарных частиц.

Сравнительный анализ особенностей построения теорий электромагнитного, сильного и слабого взаимодействий.

Форма контроля – учебная дискуссия

Тема 6. Теория электрослабого взаимодействия Вайнберга-Салама.

Тема 7. Неминимальные модели электрослабого взаимодействия.

Форма контроля – реферативные работы

Рекомендуемые темы коллоквиумов

Тема коллоквиума № 1: Нормальное и хронологическое произведение операторов.

Примерный перечень вопросов:

1. Пропагатор скалярного поля.
2. Пропагатор спинорного поля.
3. Пропагатор векторного поля.
4. Теорема Вика.

Тема коллоквиума № 2: Методы вычисления основных величин, измеряемых экспериментально.

Примерный перечень вопросов:

1. Кинематические закономерности реакций взаимодействия и распада элементарных частиц.
2. Вероятность распада.
3. Сечение рассеяния.
4. Резонансы. Нерезонансный фон.

Рекомендуемые темы рефератов

1. Квантование электромагнитного поля
2. Теорема Вика.

3. Эффект Комптона(Разложение S-матрицы).
4. Электрон-позитронная аннигиляция в мюон-антимюонную пару.
5. Правила Фейнмана.
6. Сечение процесса рассеяния.
7. Вероятность распада элементарных частиц.

Рекомендуемая тема контрольной работы

Правила Фейнмана для всех типов взаимодействий.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Основой методики организации самостоятельной работы студентов по курсу является предоставление студентам необходимой для работы информации, а также обеспечение регулярных консультаций преподавателя и периодичной отчетности по различным видам учебной и самостоятельной деятельности.

В открытом доступе для студентов размещается следующая информация:

- программа курса с указанием основной и дополнительной литературы;
- учебно-методические материалы;
- график консультаций преподавателя;
- вопросы для проведения экзамена;
- сроки проведения контрольных мероприятий по различным видам учебной деятельности:
 - коллоквиумов по изучаемому материалу;
 - контрольных работ
- для дополнительного развития творческих способностей одаренных студентов организуются:
 - студенческие научно-практические конференций, конкурсы;
 - студенческие олимпиады.

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Квантование поля скалярных частиц, заряженных и нейтральных.
2. Уравнение Шрёдингера в представлении взаимодействия; её решение.
3. Квантование поля заряженных скалярных частиц.
4. Расчёт матрицы перехода на основе гамильтониана взаимодействия.
5. Квантование электромагнитного поля.
6. Оператор хронологического упорядочивания Дайсона в физике элементарных частиц; его основные свойства.

7. Правила Фейнмана (рассеяние скалярных частиц).
8. Комптон-эффект. Матричный элемент процесса в низшем порядке теории возмущений.
9. Пропагатор скалярного эрмитовского поля.
10. Дифференциальное и полное сечения процесса взаимодействия элементарных частиц.
11. Теорема Вика.
12. Сечение рассеяния. Вероятность распада.
13. Квантование поля заряженных фермионов.
14. Квантование поля фермионов с нулевым электрическим зарядом.
15. Перспективы Великого Объединения. Сбегающие константы.
16. Матричный элемент низшего порядка теории возмущений процесса электрон-позитронной аннигиляции в две мюона.
17. Связь нормального и хронологического произведения операторов квантованных полей.
18. Расчёт пропагатора спинорного поля.
19. Правила Фейнмана (рассеяние векторных частиц).
20. Матричный элемент низшего порядка теории возмущений процесса фоторождения электрон-позитронной пары.
21. Правила Фейнмана (процессы с участием дираковских частиц).
22. Расчёт пропагатора заряженных фермионов.
23. Квантование поля векторных частиц, не имеющих электрического заряда.
24. Квантование поля векторных заряженных частиц.
25. Перспективы развития основных типов фундаментальных взаимодействий.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Квантовая теория калибровочных полей	Кафедра теоретической физики и астрофизики	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Изменений не требуется (протокол № 11 от 14.05.2020)

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**
на 2021/2022 учебный год

№ пп	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры теоретической физики и астрофизики (протокол № ____ от ____ 2021 г.)

Заведующий кафедрой
доктор ф.-м.н., профессор _____ А.Н. Фурс

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета
доцент

_____ М.С.Тиванов