

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

Филиал Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова в городе  
Сарове

**«УТВЕРЖДАЮ»**



**Директор филиала МГУ в г.Сарове  
Член-корреспондент РАН В.В. Воеводин**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Наименование дисциплины:**

---

Современные проблемы физики. Ч. 1

**Уровень высшего образования:**

Магистратура

---

**Направление подготовки:**

---

03.04.02 Физика

**Направленность (профиль) ОПОП:**

---

**Теоретическая физика**

Квалификация «Магистр»

**Форма обучения:** Очная

Саров 2021 г.

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 03.04.02 Физика в редакции приказа по МГУ от 30 декабря 2020 г. №1366.

**Авторы–составители рабочей программы дисциплины:**

к.ф.м.н. В. Е. Буничев, НИИЯФ МГУ, с. н. с.;

к.ф.м.н. Т. Ю. Третьякова, каф.общей ядерной физики (КОЯФ), доц.

## **Аннотация к рабочей программе дисциплины «Современные проблемы физики. Ч. 1»**

Дисциплина «Современные проблемы физики. Ч. 1» является курсом обязательной части магистерской программы «Теоретическая физика» и читается в первом семестре первого курса магистратуры. В курсе излагаются основные сведения о вычислении характеристик ядерных реакций и процессов на современных коллайдерах. Особое внимание уделяется вычислению матричных элементов процессов с элементарными частицами, а также вычислению дифференциальных и полных ширин процессов распада и поперечных сечений процессов рассеяния.

### **Разделы рабочей программы**

1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО).
2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (при наличии)
3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями
4. Форма обучения.
5. Язык обучения.
6. Содержание дисциплины.
7. Объем дисциплины
8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий
9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.
10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).
11. Шкала оценивания.
12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.
13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.
14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

### **1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО**

Дисциплина «Современные проблемы физики. Ч. 1» реализуется на 1-ом курсе в 1-ом семестре и является частью общенаучного блока обязательной части. Курс тесно связан с курсами «Теория групп и элементарные частицы», «Теоретическая ядерная физика», «Теория фундаментальных взаимодействий», «Физика за пределами Стандартной модели», «Моделирование процессов в физике элементарных частиц на коллайдерах»

### **2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия**

Освоение следующих дисциплин: «Квантовая теория поля».

### 3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

<b>Формируемые компетенции</b>  <b>(код компетенции)</b>	<b>Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Способность использовать знания современных проблем и новейших достижений в области теоретической физики в своей научно-исследовательской деятельности (СПК-1).</li> </ul>	<p><b>ЗНАТЬ</b></p> <p>основные законы и направления современных научных исследований в области теоретической физики.</p> <p><b>УМЕТЬ</b></p> <p>на основе фундаментальных знаний в области теоретической физики, определять возможные направления научных исследований.</p> <p><b>ВЛАДЕТЬ</b></p> <p>необходимой информацией из современных отечественных и зарубежных источников по тематике избранного направления исследования области теоретической физики.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Способность организовать и планировать физические исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области теоретической физики и решать их с помощью современной аппаратуры, оборудования и информационных технологий (СПК-2).</li> </ul>	<p><b>ЗНАТЬ</b></p> <p>базовые принципы организации научных исследований с использованием информационных технологий, основные методики работы на современном научном оборудовании.</p> <p><b>УМЕТЬ</b></p> <p>используя знания в области теоретической физики проводить научные исследования.</p> <p><b>ВЛАДЕТЬ</b></p> <p>навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов, обобщения, оформления и публичного представления полученных результатов.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Способность определять основные направления внедрения научных результатов в области теоретической физики (СПК-3).</li> </ul>	<p><b>ЗНАТЬ</b></p> <p>основные направления инновационного развития в области теоретической физики.</p> <p><b>УМЕТЬ</b></p> <p>проводить необходимый анализ современных тенденций научных инноваций в области теоретической физики для подготовки предложений по внедрению полученных научных результатов.</p> <p><b>ВЛАДЕТЬ</b></p>

методами обоснования возможного применения полученных научных результатов с учетом современных достижений в области теоретической физики.
---

4. **Форма обучения:** очная.

5. **Язык обучения:** русский.

6. **Содержание дисциплины**

Тема 1. Основные сведения из специальной теории относительности. Преобразования Лоренца. 4-векторы. 4-скорость и 4-импульс. Скалярные произведения импульсов. Инвариантная масса группы частиц. Быстрота. Сферические и псевдосферические координаты, якобиан перехода к сферическим координатам. Системы отсчета для процессов столкновения. Система центра масс. Система мишени. Система встречных пучков. Взаимные переходы между системами центра масс, мишени и встречных пучков. Энергии и импульсы сталкивающихся частиц, выраженные через инварианты. Функция треугольника. Импульсы и углы, выраженные через инварианты. Угол между двумя импульсами. Определитель Грама. Угол между двумя плоскостями. Телесный угол. Преобразования Лоренца вектора 4-импульса. Основные свойства дельта-функции.

Тема 2. Краткие сведения из квантовой теории поля. Векторы состояний и волновые функции. Матрица плотности. Решения уравнений Клейна-Гордона и Дирака. Релятивистские нормировки векторов состояний и волновых функций. Суммирование по спиновым состояниям. Правила Фейнмана. Основы вычисления матричных элементов. Вычисление матричных элементов для некоторых процессов с участием t-кварка, бозона Хиггса, частиц новой физики. Примеры: Вычислить матричный элемент t-канального процесса одиночного рождения t-кварка. Матричный элемент распада бозона Хиггса на два b-кварка.

Тема 3. Фазовое пространство. Определение фазового пространства, Распад частицы. Столкновение двух частиц. Эксклюзивная реакция. Инклюзивная реакция. Интегрирование по фазовому пространству и сечения. Фазовый объем. Время жизни. Ширина распада. Полное сечение реакции. Дифференциальное сечение. Вывод общей формулы для дифференциального сечения для процесса  $2 \rightarrow N$ . Вывод общей формулы для дифференциальной ширины для процесса  $1 \rightarrow N$ .

Распределение величины. Замена переменных в распределениях. Преобразования Лоренца распределений для одной частицы.

Тема 4. Двухчастичные конечные состояния. Фазовый объем двух частиц. Распределение углов разлета. Рассеяние  $2 \rightarrow 2$ : соотношения между СЦМ и СМ. Инвариантные переменные для рассеяния  $2 \rightarrow 2$ . Физическая область изменения  $s$ ,  $t$  и  $u$ . Рассеяние вперед и рассеяние назад. Величина  $t$  для рассеяния вперед. Соотношения между  $s$ ,  $t$ , и  $u$  величинами, относящимися к системе центра масс. Соотношения между  $s$ ,  $t$ , и  $u$  величинами, относящимися к системе мишени. Вывод формулы для дифференциальной ширины распада для процесса  $1 \rightarrow 2$ . Определение границ физической области для интегрирования по фазовому объему для процессов  $1 \rightarrow 2$ . Вывод формулы для дифференциального сечения для процесса  $2 \rightarrow 2$ . Определение границ физической области для интегрирования по фазовому объему для процессов  $2 \rightarrow 2$ . Пример: вычисление ширины распада бозона Хиггса на два b-кварка, Вычисление сечения t-канального процесса одиночного рождения t-кварка

Тема 5. Трехчастичные конечные состояния. Распад одной частицы на три. Инвариантные переменные. Диаграмма Далица. Конфигурации импульсов на диаграмме Далица. Превращение двух частиц в три. Описание с помощью двух инвариантов и двух углов;

диаграмма Чу — Лоу. Углы Джексона, Треймана — Янга, спиральности и некоторые другие. Описание с помощью трех инвариантов и одного угла. Азимутальные углы в инвариантных переменных. Описание с помощью четырех инвариантов. Циклическая симметрия, угол Толлера.

Тема 6. Множественное рождение. Каскадные распады. Времениподобные рекуррентные соотношения. Пространственноподобные рекуррентные соотношения. переменные Толлера. Распределения по фазовому объему. Поперечно-усеченное фазовое пространство. Продольное фазовое пространство. Физическая область в инвариантных переменных. Фазовая плотность в инвариантных переменных.

## 7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоёмкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в акад. часах				
		Общая трудоёмкость	в том числе ауд. занятий			на я ра
			Общая аудиторная нагрузка	Лекций	Семинаров	
Современные проблемы физики. Ч. 1	2	72	36	36	0	36

## 8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий.

Изучение курса «Современные проблемы физики. Ч. 1» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса и самостоятельную работу, заключающуюся в решении задач и подготовке к лекционным занятиям. Темы, рассматриваемые на лекциях и изучаемые самостоятельно, закрепляются на занятиях, по вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

№ темы	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоёмкость, часы					Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
		Всего часов	Лекции	Научно-практические	Семинары	Самостоятельная работа	
1	Основные сведения из	12	6	-		6	Собеседование,

	специальной теории относительности						опрос
2	Краткие сведения из Квантовой Теории поля	12	6	-		6	
3	Фазовое пространство.	12	6	-		6	
4	Двухчастичные конечные состояния.	12	6	-		6	
5	Трехчастичные конечные состояния.	12	6	-		6	
6	Множественное рождение.	12	6	-		6	
	Промежуточная аттестация	-	-	-	-	-	Зачет в форме письменной работы, экзамен в форме письменной работы с последующим собеседованием
<b>ИТОГО:</b>		<b>72</b>	<b>36</b>			<b>36</b>	

## 9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Современные проблемы физики. Ч. 1» осуществляется на лекциях и заключается в оценке активности и качества участия в опросах и собеседованиях по проблемам, изучаемых в рамках тем лекционных занятий, аргументированности позиции; оценивается широта используемых теоретических знаний.

Промежуточные аттестации по дисциплине «Современные проблемы физики. Ч. 1» проводятся в первом семестре в форме зачёта или экзамена. Зачет в форме письменной работы, экзамен в форме письменной работы с последующим собеседованием по программе.

Результаты сдачи экзамена оцениваются по шкале «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

## 10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю). Требования к структуре и содержанию фонда оценочных средств текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Перечень оценочных средств, применяемых на каждом этапе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине, представлены в таблице:

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
<b>Оценочные средства текущего контроля</b>		

Тематический опрос (в форме ответов на вопросы)	Средство контроля, организованное как специальная беседа по тематике предыдущей лекции и рассчитанное на выяснение объема и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Собеседование (в форме беседы, дискуссии по теме)	Средство контроля, организованное как свободная беседа, дискуссия по тематике изучаемой дисциплины, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по всем изученным разделам, темам; свободного использования терминологии для аргументированного выражения собственной позиции.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Тестирование	Средство контроля, позволяющее получить оценку уровня фактических знаний студента по изученной теме.	Образцы тестов
<b>Оценочные средства промежуточной аттестации</b>		
Письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	Перечень вопросов к экзамену
Собеседование	Средство, позволяющее получить экспертную оценку знаний, умений и навыков для оценивания и анализа различных фактов и явлений в своей профессиональной области.	Требования к порядку проведения собеседования

## 11. Шкала оценивания.

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	2	3	4	5
<b>ЗНАТЬ:</b> Основы кинематики и динамики процессов взаимодействия атомных ядер и элементарных частиц.	Отсутствие знаний в области кинематики процессов взаимодействия атомных ядер и элементарных частиц.	В целом успешное, но не систематическое знание в области кинематики процессов взаимодействия атомных ядер и элементарных частиц.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание в области кинематики процессов взаимодействия атомных ядер и элементарных частиц.	Успешные и систематические знания в области кинематики процессов взаимодействия атомных ядер и элементарных частиц.
<b>УМЕТЬ:</b>	Отсутствие умения	В целом	В целом	Успешное и



аналитически выполнять расчеты ширины распада и сечений рассеяния процессов взаимодействия частиц.	аналитически выполнять расчеты ширины распада и сечений рассеяния процессов взаимодействия частиц.	успешное, но не систематическое умение аналитически выполнять расчеты ширины распада и сечений рассеяния процессов взаимодействия частиц.	успешное, но содержащее отдельные пробелы умение аналитически выполнять расчеты ширины распада и сечений рассеяния процессов взаимодействия частиц.	систематическое умение аналитически выполнять расчеты ширины распада и сечений рассеяния процессов взаимодействия частиц.
<b>ВЛАДЕТЬ:</b> навыками алгебраических преобразований и многомерного интегрирования.	Отсутствие/фрагментарное владение навыками алгебраических преобразований и многомерного интегрирования.	В целом успешное, но не систематическое владение навыками алгебраических преобразований и многомерного интегрирования.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками алгебраических преобразований и многомерного интегрирования.	Успешное и систематическое владение навыками алгебраических преобразований и многомерного интегрирования.

## 12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

### *Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся*

Пример вопроса для контроля по теме 1: Написать преобразования Лоренца вектора 4-импульса.

Пример вопроса для контроля по теме 2: Как выглядят матрицы плотности для фермиона, векторного бозона, скаляра.

Пример вопроса для контроля по теме 3: Определение сечения рассеяния процесса.

Пример вопроса для контроля по теме 4: Написать выражение для сечения процесса  $2 \rightarrow 2$ .

Пример вопроса для контроля по теме 5: Что такое диаграмма Далица.

Пример вопроса для контроля по теме 6: Написать рекурсивное выражение для фазового объема каскадного распада.

### *Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины*

В результате освоения дисциплины обучающийся должен владеть основными сведениями о

## 13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

Задания для проверки знаний по теме 1:

Доказать Лоренц инвариантность дифференциала  $d^3p/dE$ , Доказать Лоренц инвариантность выражения  $E \cdot \delta(p-p')$ , Доказать, что  $d^3p/dE = \int d^4p \cdot \delta(p^2 - m^2)$ , если  $E^2 = p^2 + m^2$ .

Задание для проверки знаний по теме 2:

Вычислить матричный элемент процесса Дрелла-Яна с парным рождением тау-лептонов.

Задание для проверки знаний по теме 3:

Осуществить преобразование распределения энергии лептона при переходе из системы центра масс в систему покоя t-кварка в процессах рождения и распада t-кварка.

Задание для проверки знаний по теме 4:

Вычисление ширины распада W-бозона на заряженный лептон и нейтрино.

Задание для проверки знаний по теме 5: Построить уравнение границы диаграммы Далица для распадов  $\eta \rightarrow 3\pi$ ;  $\eta \rightarrow \pi^+ \pi^- \gamma$  в переменных  $M_{13}^2$  и  $M_{23}^2$ ,  $E_1^*$  и  $E_2^*$

Задание для проверки знаний по теме 6: Найти полный релятивистки-инвариантный фазовый объем для распада  $1 \rightarrow 3$

#### 14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

1. М.Пескин, Д.Шредер, *Введение в квантовую теорию поля*, М. И. "РХД", 2001 г.
2. Е.Бюклинг, К.Каянти, *Кинематика элементарных частиц*, М.:Мир, 1975
3. А.М. Балдин, В.И. Гольданский, И.Л. Розенталь, *Кинематика ядерных реакций*, М. 1968
4. Г.Кейн. *Современная физика элементарных частиц*, М.:Мир, 1990
5. Г.И. Копылов, *основы кинематики резонансов*, М.:Наука, 1970
6. Л.Б.Окунь, *Лептоны и кварки*, М.:Наука, 1981
7. Ф.Хелзен, А.Мартин, *Кварки и лептоны*, Новокузнецк.:НФМИ, 2000
8. Л.Райдер, *Квантовая теория поля*, Волгоград.:Платон, 1998
9. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теоретическая физика. Том.2. Теория поля. М.:Физматлит, 2018. (<https://znanium.com/>)
- 10.Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теоретическая физика. Том.3. Квантовая механика(нерелятивистская теория). М.:Физматлит, 2016. (<https://znanium.com/>)
11. М.И.Высоцкий. Современное состояние физики частиц. Вып. 7. М.:МЭИ, 2017. (<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383011492.html>)

Перечень дополнительной литературы:

1. Э.Боос, М.Дубинин, Проблемы автоматических вычислений для физики на коллайдерах, Успехи физических наук, т.180, с.1081, 2010
2. E.Boos et al, CompHEP 4.4: Automatic computations from lagrangians to events, Nucl.Instrum.Meth., A 534 (2004) 250-259 (электронный ресурс: hep-ph/0403113)
3. A.Pukhov et al, CompHEP — a package for evaluation of Feynman diagrams and integration over multiparticle phase space, электронный ресурс: hep-ph/9908288
6. I. Aitchison, A.Hey, Gauge theories in particle physics, Bristol and Philadelphia:IoP Publishing, 2003

7. М.Б.Волошин, К.А.Тер-Мартirosян, Теория калибровочных взаимодействий элементарных частиц, М.: Энергоатомиздат, 1984

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» :

1. База данных *INSPIRE (High Energy Physics Literature Database)* <http://inspirehep.net/>
2. База данных *Cornell University (lanl.arXiv.org)* <http://xxx.lanl.gov/>

Перечень используемых информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы (при необходимости):

Использование сети интернет, базы данных INSPIRE (High Energy Physics Literature Database), базы данных публикаций Cornell University (lanl.arXiv.org), программное обеспечение для физики высоких энергий CompHEP, PYTHIA, ROOT, пакеты программ REDUCE, FORM, MATHEMATICA, стандартные компиляторы программ на языках FORTRAN, ansi C, C++.

Описание материально-технической базы:

лекционная аудитория, оборудованная доской и аппаратурой для демонстрации мульти-медиа презентаций. Проецирование материалов лекций на экран при помощи компьютера, сопряженного с проектором. Компьютер для демонстрации программного обеспечения.