

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
ФИЛИАЛ МГУ В Г. ДУБНЕ



УТВЕРЖДАЮ
И.о. директора
филиала МГУ в г.Дубне
/ Э.Э. Боос /
« 09 » 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Методы обработки экспериментальных данных физики высоких энергий

Уровень высшего образования:

Магистратура

Направление подготовки:

03.04.02 Физика

Направленность (профиль) ОПОП:

Физика элементарных частиц

Форма обучения: Очная форма обучения

Дубна 2022 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 программы магистратуры 03.04.02 «Физика».

Год (годы) приема на обучение _____

Авторы–составители:

1. Кандидат физ.-мат. наук Леонтьев Владимир Викторович, доцент кафедры физического факультета МГУ
2. Доктор физ.-мат. наук Гуськов Алексей Вячеславович, почасовик МГУ

Руководитель магистерской программы:

Доктор физ.-мат. наук, профессор академик РАН В.А. Матвеев, заведующий кафедрой физического факультета МГУ

**Аннотация к рабочей программе дисциплины
«Методы обработки экспериментальных данных физики высоких энергий»**

В данном курсе рассматривается применение методов теории вероятности и математической статистики к наиболее типичным экспериментальным задачам, таким как поиск новых частиц в спектрах инвариантных масс и проверка статистической значимости слабых сигналов, кинематический анализ двух- и трёхчастичных распадов, фитирование полученных в эксперименте зависимостей произвольными функциями и оценка параметров этих функций методом наименьших квадратов и методом максимального правдоподобия. В ходе изучения обсуждаемых методов предлагается знакомство с пакетом ROOT, являющимся стандартным пакетом обработки данных в экспериментальной физике высоких энергий.

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. Формат 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 «Методы обработки экспериментальных данных физики высоких энергий» реализуется на 1-ом курсе в 1-ом семестре магистратуры и входит в состав вариативной части.

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

Базовые знания в области общей и теоретической физики в объеме классических университетских курсов

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

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции	Результаты обучения
МПК-1 Способен решать практические задачи профессиональной деятельности в области физики элементарных частиц на основе фундаментальных знаний	ИМПК-1.2 Умеет выполнять следующие операции в рамках решения профессиональной деятельности: вычисления на древесном уровне ширины и сечений различных процессов физики элементарных частиц	З-1 Знать: основные требования к обработке результатов экспериментов в физике высоких энергий У-1 Уметь: используя различные методы, обрабатывать экспериментальные данные физики высоких энергий. В-1 Владеть: способностью оценивать ошибки и погрешности экспериментов физики высоких энергий и делать выводы об их статистической значимости

3. **Форма обучения:** очная.

4. **Язык обучения:** русский.

5. **Содержание дисциплины**

Тема 1. Экспериментальные данные в физике частиц.

Специфика экспериментальных данных в физике элементарных частиц. Типичные задачи по обработке данных, стоящие перед экспериментатором. Результаты измерения как случайные величины.

Тема 2. Ошибки измерений.

Статистические и систематические ошибки измерений. Графические методы представления экспериментальных данных.

Тема 3. Свойства случайных величин.

Случайная величина. Среднее значение и дисперсия. Функции распределения случайной величины. Свойства основных функций распределения. Закон больших чисел. Центральная предельная теорема. Независимые случайные величины. Корреляционная зависимость случайных величин.

Тема 4. Кинематика СТО Кинематика СТО Алгебра 4-векторов.

Двухчастичное рассеяние. Манделштамовские переменные u, s, t .

Тема 5. Основные типы экспериментов в физике частиц Сечение реакции.

Дифференциальное сечение.

Особенности экспериментов на встречных пучках и экспериментов на фиксированной мишени.

Тема 6. Двухчастичный распад.

Кинематика двухчастичного распада. Диаграмма Арментаероса-Подольского.

Тема 7. Трёхчастичный распад.

Кинематика трехчастичного распада. Диаграмма Далица.

Тема 8. Проверка статистических гипотез.

Проверка статистических гипотез. Критерии χ^2 , Колмогорова. Доверительный интервал.

Тема 9. Статистическая значимость пиков Анализ соотношения "сигнал-фон".

Проблема поиска новых частиц в спектре инвариантных масс конечных состояний.

Тема 10. Оценка параметров распределений.

Оценка параметров распределений и зависимостей. Метод максимального правдоподобия.

Тема 11. Метод наименьших квадратов.

Метод наименьших квадратов. Программы-минимизаторы. Оценка ошибок измерений по величине χ^2 .

Тема 12. Разрешение экспериментальной установки и методы его оценки Разрешение экспериментальной установки.

Методы оценки экспериментального разрешения по известным процессам. Примеры оценки экспериментального разрешения.

Тема 13. Критерии отбора событий.

Общие принципы нахождения критериев отбора сигнальных событий и подавления фона. Понятие о методе Монте-Карло моделирования.

Тема 14. Введение в пакет ROOT.

ROOT - объектно-ориентированная среда для обработки данных Интерпретатор ROOT Гистограммы (TH1, TH2).

Тема 15. Фитирование гистограмм и графиков в ROOT.

Графики (TGraph, TGraphErrors) Фитирование гистограмм и графиков.

Тема 16. Деревья ROOT.

Функции (TF1, TF2) Деревья (TTree, TChain).

Тема 17. Векторы и 4-векторы в ROOT Генераторы случайных чисел (TRandom).
 Векторы и 4-векторы (TVector3, TLorentzVector) Использование классов ROOT в C++ программах.

7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах					Самостоятельная работа студентов
		Общая трудоемкость	в том числе ауд.занятий			Учебно-практические занятия	
			Общая аудиторная нагрузка	Лекций	Семинаров		
Методы обработки экспериментальных данных физики высоких энергий	2	72	36	18	18	36	

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

Изучение курса «Методы обработки экспериментальных данных физики высоких энергий» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса; семинарские занятия, предусматривающие углубленное изучение и обсуждение вопросов, обозначенных в темах дисциплины; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным и семинарским занятиям. Темы, рассматриваемые на лекциях и изучаемые самостоятельно, закрепляются на семинарских занятиях, по вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

№ темы	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

		Вс его ча со в	Л е к ц и и	С е м и н а р ы	Учебно- практичес кие занятия (лаборато рные или практичес кие занятия)	Са мо сто ят ель на я ра бо та	
1	Экспериментальные данные в физике частиц	3	1	1		1	
2	Ошибки измерений	3	1	1		1	
3	Свойства случайных величин	3	1	1		1	
4	Кинематика СТО	3	1	1		1	
5	Основные типы экспериментов в физике частиц	4	1	1		2	
6	Двухчастичный распад	4	1	1		2	
7	Трёхчастичный распад	4	1	1		2	
8	Проверка статистических гипотез	4	1	1		2	
9	Статистическая значимость пиков	4	1	1		2	
10	Оценка параметров распределений	4	1	1		2	
11	Метод наименьших квадратов	4	1	1		2	
12	Разрешение экспериментальной установки и методы его оценки	4	1	1		2	
13	Критерии отбора событий	4	1	1		2	
14	Введение в пакет ROOT	4	1	1		2	
15	Фитирование гистограмм и графиков в ROOT	4	1	1		2	
16	Деревья ROOT	4	1	1		2	
17	Векторы и 4-векторы в ROOT	6	2	2		2	
	Промежуточная аттестация	6				6	экзамен
ИТОГО:		72	18	18		36	

ДЗ- домашнее задание, Оп- опрос, КР- контрольная работа, Т- тестирование, Реф - реферат

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Методы обработки экспериментальных данных физики высоких энергий» осуществляется на лекциях и семинарских занятиях 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.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Методы обработки экспериментальных данных физики высоких энергий» проводится в первом семестре в форме экзамена.

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).

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
Оценочные средства текущего контроля		
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 аспиранта по изученной теме.	Образцы тестов
Оценочные средства промежуточной аттестации		
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 по 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/ неудовлетворительно	3/ удовлетворительно	4/ хорошо	5/ отлично
ЗНАТЬ: основные требования к обработке результатов экспериментов в физике высоких энергий ИМПК-1.2	Отсутствие знаний основных требований к обработке результатов экспериментов в физике высоких энергий	В целом успешные, но не систематические знания основных требований к обработке результатов экспериментов в физике высоких энергий	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знания основных требований к обработке результатов экспериментов в физике высоких энергий	Успешные и систематические знания основных требований к обработке результатов экспериментов в физике высоких энергий
УМЕТЬ: используя различные методы, обрабатывать экспериментальные данные физики высоких энергий ИМПК-1.2	Отсутствие умения различные методы, обрабатывать экспериментальные данные физики высоких энергий	В целом успешное, но не систематическое умение различные методы, обрабатывать экспериментальные данные физики высоких энергий	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение различные методы, обрабатывать экспериментальные данные физики высоких энергий	Успешное и систематическое умение различные методы, обрабатывать экспериментальные данные физики высоких энергий
ВЛАДЕТЬ: способностью оценивать ошибки и погрешности экспериментов физики высоких энергий и делать выводы об их статистической значимости ИМПК-1.2	Отсутствие/фрагментарное владение способностью оценивать ошибки и погрешности экспериментов физики высоких энергий и делать выводы об их статистической значимости	В целом успешное, но не систематическое владение способностью оценивать ошибки и погрешности экспериментов физики высоких энергий и делать выводы об их статистической значимости	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение способностью оценивать ошибки и погрешности экспериментов физики высоких энергий и делать выводы об их статистической значимости	Успешное и систематическое владение способностью оценивать ошибки и погрешности экспериментов физики высоких энергий и делать выводы об их статистической значимости

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

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

Пример:

Вопросы по теории:

1. Метод наименьших квадратов.
2. Методы оценки экспериментального разрешения по известным процессам.

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

Экзамен проводится в виде письменной работы с последующим собеседованием по изучаемым темам.

Материалы промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к экзамену:

1. В чём заключается особенность экспериментальных данных в физике частиц?
2. Назовите наиболее часто встречающиеся в экспериментальной физике частиц статистические распределения. Каковы основные параметры этих распределений? Приведите примеры случайных величин, подчиняющихся этим законам распределения.
3. Каким образом осуществляется предельный переход от биномиального распределения к распределению Пуассона и нормальному распределению?
4. Возможно ли, зная одномерные функции распределения двух случайных величин, установить совместную функцию распределения этих величин? Если да, то в каких случаях?
5. Какие величины являются инвариантами преобразований Лоренца?
6. В чем заключается преимущество экспериментов со встречными пучками перед экспериментами с неподвижной мишенью? В чём заключаются недостатки?
7. Чему равно полное сечение резерфордского рассеяния?
8. В чём заключается особенность двух- и трёхчастичных распадов?
9. Приведите примеры распадов, которые могут быть использованы для калибровки экспериментальной установки.
10. Сравните метод максимального правдоподобия и метод наименьших квадратов оценки параметров. В чём достоинства и недостатки каждого из методов?
11. Что такое псевдослучайные числа? В каких случаях вместо последовательности случайных чисел может быть использована последовательность псевдослучайных чисел?
12. Приведите примеры использования объектов ROOT классов TН1, TGraph, TGraphErrors для анализа экспериментальных данных? В каких случаях наиболее удобно применять каждый из перечисленных объектов?
13. Какие существуют способы записи и чтения объектов из дерева ROOT? В каких случаях разумно применять каждый из них? Что такое TChain?
14. Какие средства работы с векторами и 4-векторами предлагает ROOT? Как осуществляются операции преобразования векторов и 4-векторов?
15. Каким образом ROOT может взаимодействовать с другими стандартными приложениями, используемыми в физике частиц?

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

Основная литература

1. Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, Теоретическая физика, Том 2, М. Наука, 1988
2. В. П. Чистяков, Курс теории вероятностей, М., Наука, 1978
3. Е. Бюклинг, К. Каянти, Кинематика элементарных частиц, М., Мир, 1975
4. Г.И.Копылов, Основы кинематики резонансов, М., Наука, 1970
5. Р. Бок, Х. Грот, Д. Ноц, М. Реглер, Методы анализа данных в физическом эксперименте., М., Мир, 1993
6. Идье В., Драйард Д., Джеймс Ф., Рус М., Садуле Б., Статистические методы в экспериментальной физике, М., Атомиздат, 1976
7. ROOT User's Guide [<http://root.cern.ch/drupal/content/users-guide>]

При реализации дисциплины может быть использовано следующее программное обеспечение:

1. Операционная система Astra Linux (<https://astralinux.ru/>) или аналог, с офисным пакетом, с пакетами разработчика.

Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

1. База данных РИНЦ (российский индекс научного цитирования) <http://www.elibrary.ru>
2. Открытая база данных Particle Data Group

Материально-техническое обеспечение

В соответствии с требованиями п. 5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика», курс может быть прочитан в поточной аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.