

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ  
КАФЕДРА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/08/24-573.1

от 30.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
МЕТОДОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 14.04.02 Ядерные физика и технологии

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
1	4	144	16	32	0		60	0	Э
Итого	4	144	16	32	0	0	60	0	

## АННОТАЦИЯ

Рассматриваются методы оценивания и надежность оценок, проверка статистических гипотез, метод наименьших квадратов и другие. В качестве итоговой рассматривается задача выбора рекомендованного значения по ряду измерений, актуальная в области константного обеспечения ядерно-физических установок.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- изучение принятых в математической статистике основных подходов к обработке экспериментальных данных.
- овладения техникой обработки данных современными компьютерными средствами.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Данная учебная дисциплина входит в общеобразовательный модуль комплекса курсов по выбору.

Логически и содержательно – методически дисциплина является частью вводной специализации, являющейся неотъемлемой частью знаний физика – экспериментатора в области экспериментальной ядерной физики и физики частиц.

Для освоения данной дисциплины необходимо предшествующее освоение курсов математического анализа и теории вероятностей.

«Входными» знаниями являются знания курса «Математический анализ» и навыки работы в операционной системе Windows, знания общей физики и ядерной физики в университетском объеме, элементарные навыки программирования. Для изучения дисциплины также необходимы компетенции, сформированные у обучающихся в результате освоения дисциплин ООП подготовки:

- уравнения математической физики; информатика, современные методы моделирования и др.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
УК-1 [1] – Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию	З-УК-1 [1] – Знать: методы системного и критического анализа; методики разработки стратегии действий для выявления и решения проблемной ситуации У-УК-1 [1] – Уметь: применять методы системного

действий	подхода и критического анализа проблемных ситуаций; разрабатывать стратегию действий, принимать конкретные решения для ее реализации В-УК-1 [1] – Владеть: методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций; методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки стратегий действий
УКЦ-2 [1] – Способен к самообучению, самоактуализации и саморазвитию с использованием различных цифровых технологий в условиях их непрерывного совершенствования	3-УКЦ-2 [1] – Знать основные цифровые платформы, технологии и интернет ресурсы используемые при онлайн обучении У-УКЦ-2 [1] – Уметь использовать различные цифровые технологии для организации обучения В-УКЦ-2 [1] – Владеть навыками самообучения, самоактуализации и саморазвития с использованием различных цифровых технологий

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

<b>Задача профессиональной деятельности (ЗПД)</b>	<b>Объект или область знания</b>	<b>Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции</b>
<b>проектный</b>			
4 Формирование целей проекта (программы) решения задач, критериев и показателей достижения целей, построение структуры их взаимосвязей, выявление приоритетов решения задач с учетом всех аспектов деятельности; разработка обобщенных вариантов решения проблемы, анализ этих вариантов, прогнозирование последствий, нахождение компромиссных решений в условиях многокритериальности, неопределенности, планирование реализации проекта;	4 Математические модели для теоретических, экспериментальных и прикладных проектов по исследованию явлений и закономерностей в области физики ядра, частиц, плазмы, газообразного и конденсированного состояния вещества, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, включая экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение	ПК-3.3 [1] - Способен к работе с современным программным обеспечением и его разработке для численных предсказаний (моделирования), обработки и анализа экспериментальных данных в области физики ядра и элементарных частиц  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	3-ПК-3.3[1] - Знать принципы формирования целей проекта (программы) решения задач, критериев и показателей достижения целей, построения структуры их взаимосвязей, выявления приоритетов решения задач с учетом всех аспектов деятельности; У-ПК-3.3[1] - Уметь проводить проектирование детекторов и установок, а также, на концептуальном уровне, самих

использование информационных технологий при разработке новых установок, материалов и изделий; разработка проектов технических условий, стандартов и технических описаний новых установок, материалов и изделий	безопасности гражданских объектов		экспериментов в области физики ядра и элементарных частиц, использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и изделий; В-ПК-3.3[1] - Владеть методами выполнения расчётных, проектно-конструкторских работ и обработки результатов средствами современных программных пакетов
4 Формирование целей проекта (программы) решения задач, критериев и показателей достижения целей, построение структуры их взаимосвязей, выявление приоритетов решения задач с учетом всех аспектов деятельности; разработка обобщенных вариантов решения проблемы, анализ этих вариантов, прогнозирование последствий, нахождение компромиссных решений в условиях многокритериальности, неопределенности, планирование реализации проекта; использование информационных технологий при разработке новых установок, материалов и изделий; разработка	4 Математические модели для теоретических, экспериментальных и прикладных проектов по исследованию явлений и закономерностей в области физики ядра, частиц, плазмы, газообразного и конденсированного состояния вещества, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, включая экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности гражданских объектов	ПК-5 [1] - Способен проводить расчет и проектирование физических установок и приборов с использованием современных информационных технологий  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	3-ПК-5[1] - Знать основные физические законы и стандартные прикладные пакеты используемые при моделировании физических процессов и установок ; У-ПК-5[1] - Уметь применять стандартные прикладные пакеты используемые при моделировании физических процессов и установок; В-ПК-5[1] - Владеть стандартными прикладными пакетами используемыми при моделировании физических процессов и установок

проектов технических условий, стандартов и технических описаний новых установок, материалов и изделий			
производственно-технологический			
5 Разработка способов проведения ядерно-физических экспериментов и экспериментов в смежных областях науки и техники, способов применения ядерно-физических методик в решении технологических проблем; использование результатов проводимых исследований и разработок в технологических и производственных целях; реализация цепочки: исследование, развитие, технология, производство	5 Современный ядерно-физический эксперимент, современные детекторные системы и электронные системы сбора и обработки данных для ядерно-физических установок, математические модели для теоретического и экспериментального исследований фундаментальных взаимодействий элементарных частиц и атомных ядер	ПК-10 [1] - Способен решать инженерно-физические и экономические задачи с помощью пакетов прикладных программ  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-10[1] - Знать основные пакеты прикладных программ для решения инженерно-физических и экономических задач ; У-ПК-10[1] - Уметь осуществлять подбор прикладных программ для решения конкретных инженерно-физических и экономических задач; В-ПК-10[1] - Владеть навыками работы с прикладными программами для решения инженерно-физических и экономических задач

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары )/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>1 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	8/16/0		25	КИ-8	З-ПК-3.3, У-ПК-3.3, В-ПК-3.3, З-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, З-УК-1, У-УК-1,

							В-УК-1, 3-УКЦ-2, У-УКЦ-2, В-УКЦ-2
2	Часть 2	9-16	8/16/0		25	КИ-16	3-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10, 3-ПК-3.3, У-ПК-3.3, В-ПК-3.3, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5
	<i>Итого за 1 Семестр</i>		16/32/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 1 Семестр</b>				50	Э	3-ПК-3.3, У-ПК-3.3, В-ПК-3.3, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, 3-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10, 3-УК-1, У-УК-1, В-УК-1

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>1 Семестр</i>	16	32	0
<b>1-8</b>	<b>Часть 1</b>	8	16	0
1	<b>Обработка данных в современной экспериментальной физике.</b> Дискретные и непрерывные случайные величины. Свойства и числовые характеристики основных распределений.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
2 - 4	<b>Потоки событий.</b> Пуассоновский поток событий - математическая модель, условия применимости для описания реальных потоков.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		

	Полтоки событий - производные от пуассоновского. Каскадные процессы - примеры из физики детекторов.	0	0	0
5 - 6	<b>Основные положения математической статистики и метод Монте-Карло.</b> Оценки и их свойства. Оценивание параметров генеральной совокупности по выборке. Равноточные и неравноточные распределения.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
6 - 8	<b>Погрешности косвенных измерений.</b> Оценка параметров генеральной совокупности методом моментов и максимального правдоподобия.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
8 - 9	<b>Надежность оценок.</b> Доверительные интервалы для математического ожидания и дисперсии нормально распределенной совокупности. Методика построения доверительных интервалов для параметров генеральной совокупности с произвольным законом распределения.	Всего аудиторных часов		
		1	2	0
		Онлайн		
9-16	<b>Часть 2</b>	Всего аудиторных часов		
		8	16	0
		Онлайн		
9 - 10	<b>Статистическая проверка гипотез.</b> Основные понятия и определения. Общая логическая проверка нулевой гипотезы. Ошибки первого и второго рода. Мощность критерия.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
11 - 12	<b>Линейный метод наименьших квадратов.</b> Линейный метод наименьших квадратов в интерпретации экспериментальных данных. Выбор вида аппроксимирующей функции, оценка ее параметров. Понятие о нелинейном МНК. Обзор методов численной минимизации.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
13 - 14	<b>Задача о выборе рекомендованного значения.</b> Выдвижение и проверка гипотез о происхождении ряда измерений. Надежность рекомендованного значения физической величины.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		
15 - 16	<b>Основные приемы обработки спектрометрической информации.</b> Выбор шага дискретизации. Оценка площади и положения максимума пика в линейчатом спектре. Понятие об автоматической обработке линейчатых спектров.	Всего аудиторных часов		
		2	4	0
		Онлайн		

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

## ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>1 Семестр</i>
1 - 4	<b>практикум 1</b> Свойства пуассоновского потока.
5 - 8	<b>практикум 2</b> Проверка статистических гипотез и критерии согласия.
9 - 12	<b>практикум 3</b> Линейный метод наименьших квадратов.
13 - 16	<b>практикум 4</b> Методы оценивания и надежность оценок.

### 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В процессе освоения курса, помимо лекций, используются следующие подходы (технологии) на семинарах:

- семестровый практикум (4 тематические работы по моделированию и обработке данных);
- домашнее задание, охватывающее основные разделы курса.
- дискуссия с разбором типичных ситуаций, встречающихся при постановке эксперимента и решением типичных математических задач;

Практикум предусматривает самостоятельную внеаудиторную работу – обработку полученных экспериментальных данных, их анализ и интерпретацию.

Также предусмотрено оперативное решение студентами задач по ходу лекции с последующим обсуждением;

Для хорошего усвоения материала широко используется самостоятельная работа студентов при их подготовке к аттестациям, в том числе - с учетом подготовки и участия в дискуссиях на семинарах и лекциях.

### 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-10	З-ПК-10	Э, КИ-16
	У-ПК-10	Э, КИ-16
	В-ПК-10	Э, КИ-16
ПК-3.3	З-ПК-3.3	Э, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-3.3	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-3.3	Э, КИ-8, КИ-16
ПК-5	З-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-16



	У-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-16
УК-1	З-УК-1	Э, КИ-8
	У-УК-1	Э, КИ-8
	В-УК-1	Э, КИ-8
УКЦ-2	З-УКЦ-2	КИ-8
	У-УКЦ-2	КИ-8
	В-УКЦ-2	КИ-8

### Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-х балльной шкале	Отметка о зачете	Оценка ECTS
90-100	5 – «отлично»	«Зачтено»	A
85-89	4 – «хорошо»		B
75-84			C
70-74			D
65-69	3 – «удовлетворительно»		E
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	«Не зачтено»	F

Оценка «отлично» соответствует глубокому и прочному освоению материала программы обучающимся, который последовательно, четко и логически стройно излагает свои ответы, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответах материалы монографической литературы.

Оценка «хорошо» соответствует твердым знаниям материала обучающимся, который грамотно и, по существу, излагает свои ответы, не допуская существенных неточностей.

Оценка «удовлетворительно» соответствует базовому уровню освоения материала обучающимся, при котором освоен основной материал, но не усвоены его детали, в ответах присутствуют неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности.

Отметка «зачтено» соответствует, как минимум, базовому уровню освоения материала программы, при котором обучающийся владеет необходимыми знаниями, умениями и навыками, умеет применять теоретические положения для решения типовых практических задач.

Оценку «неудовлетворительно» / отметку «не зачтено» получает обучающийся, который не знает значительной части материала программы, допускает в ответах существенные ошибки,

не выполнил все обязательные задания, предусмотренные программой. Как правило, такие обучающиеся не могут продолжить обучение без дополнительных занятий.

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. ЭИ Р 58 R в действии. Анализ и визуализация данных в программе R : , Кабаков , Роберт И. , Москва: ДМК Пресс, 2014
2. ЭИ К82 Лабораторный практикум по курсу "Статистические методы обработки информации" : , Кулябичев Ю.П., Крицына Н.А., Москва: НИЯУ МИФИ, 2015
3. 519 Б79 Методы обработки многомерных данных и временных рядов : учебное пособие, Каримов Р.Н., Большаков А.А., Москва: Горячая линия-Телеком, 2014
4. 539.1 Б73 Практикум по методам обработки и моделирования в современных экспериментах по физике высоких энергий : учебное пособие для вузов, Богданов А.А., Лapidус К.О., Тимошенко С.Л., Москва: МИФИ, 2008

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. 539.1 В24 Введение в физику тяжелых ионов : учебное пособие для вузов, Гангрский Ю.П. [и др.], Москва: МИФИ, 2008
2. 004 В35 Вероятностно-статистические методы обработки данных в информационных системах : , Шумилов Ю.Ю. [и др.], М.: Радио и связь, 2003
3. 539.1 П99 Лабораторный практикум по курсу "Методы обработки результатов измерений" : , Пятков Ю.В., Федотов С.Н., Москва: МИФИ, 2001

### **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:**

Специальное программное обеспечение не требуется

### **LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:**

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

## **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

## Указания по изучению основных разделов курса

### Вводный раздел.

Обратить внимание на отчетливое понимание следующих понятий и вопросов: «случайность», «случайная величина», частота появления конкретного значения величины в выборке и случайность, наглядный смысл среднего значения и дисперсии случайной величины.

### Пуассоновский поток событий и смежные вопросы.

Уяснить общий смысл термина «поток». Поток событий во времени: случайные величины, которые могут быть связаны с потоком (два языка описания свойств потока событий). Физические примеры, иллюстрирующие нарушение свойств, при которых поток является пуассоновским - придумать свои. Применимость модели пуассоновского потока к реальным потокам событий в практике эксперимента – зафиксировать соответствующие количественные указания.

### Метод Монте-Карло.

Обратить внимание на вариативность (наличие нескольких вариантов) оценки одной и той же величины: пример оценки определенного интеграла методом Монте-Карло (два варианта) и ее случайный характер. Моделирование случайной величины, распределенной по биномиальному закону – представить мысленно эксперимент по получению значений такой случайной величины.

### Методы оценивания и надежность оценок.

Обратить внимание на базовые определения - что понимается под генеральной совокупностью и выборкой. Уяснить, что собственно оценивается по выборке, обратить внимание на случайный характер оценки. Доверительный интервал: случайные пределы для неслучайной величины – обратить внимание на этот факт и понять, почему такое возникает.

### Проверка статистических гипотез и критерии согласия.

Иметь в виду, что излагаемая в курсе процедура проверки статистической гипотезы в приближении «здравого смысла», опираясь на метод Монте-Карло, является базовой для понимания любого критерия согласия и решения соответствующей задачи ДЗ. Вывод условий, при которых проверочная статистика распределена по  $\chi^2$ , далее востребован в других разделах курса. Этот вывод необходимо воспроизводить самостоятельно. Придумать примеры, связанные с проверкой одной и той же гипотезы о том, что выборка взята из некоторой генеральной совокупности, но с разным числом степеней свободы.

### Метод наименьших квадратов и смежные вопросы.

Обратить внимание на «всеядность» МНК в смысле вида функции, выбранной для аппроксимации данных и критерий выбора «корректного» аппроксиматора. Сплайн-МНК как универсальный подход к интерполяции экспериментальных данных – уяснить, на чем базируется эта универсальность и является ли она абсолютной.

### Примеры решения практически важных задач.

Априорная модель обрабатываемой выборки как основа алгоритма получения оценок и их интерпретации – внимательно отнестись к этой, кажущейся вводной, части темы – это ключ к пониманию стратегии оценивания, рассматриваемой на примере оценки интенсивности пуассоновского потока при разных условиях измерений.

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

Преподаватель должен сконцентрировать свои усилия на обеспечении самостоятельной работы студентов.

Предполагается следующая структура лекционно-практических занятий: чтение блока теоретического материала с последующей проработкой в ходе самостоятельной работы.

Опыт, накопленный в ходе преподавания данной дисциплины, показывает, что необходимо мотивировать студента на самостоятельную работу. Постановка нетривиальной задачи является наилучшим стимулом.

Хорошо зарекомендовали себя такие формы работы как диалог со студентом, групповая дискуссия. Активным студентам предлагается сделать небольшие сообщения по каким-либо частным аспектам изученных материалов.

Автор(ы):

Федотов Сергей Николаевич, к.ф.-м.н., с.н.с.

Пятков Юрий Васильевич, д.ф.-м.н., профессор