

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ  
КАФЕДРА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/423-573.1

от 20.04.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**СТАТИСТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ДЕТЕКТОРАХ ИЗЛУЧЕНИЙ (ЧАСТЬ 1)**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 14.03.02 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, экс./зач./КР/КП
7	3	108	16	16	0	22	0	Э
Итого	3	108	16	16	0	0	22	0

## АННОТАЦИЯ

Курс по подготовке выпускников в области ядерной физики и технологий. 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. Курс является продолжением базового курса МОРИ

### 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

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:

- 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
--------------------------------	--

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

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
--	---------------------------	--	---

производственно-технологический			
<p>4 Организация защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия; организация рабочих мест, их техническое оснащение, размещение технологического оборудования; контроль за соблюдением технологической дисциплины и обслуживание технологического оборудования; метрологическое обеспечение технологических процессов, использование типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; участие в работах по доводке и освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых установок, приборов и систем; наладка, настройка, регулировка и опытная проверка оборудования и программных средств; монтаж, наладка, испытания и сдача работ в необходимые сроки заказчику</p>	<p>4 Объектами профессиональной деятельности выпускников по основной образовательной программе «Экспериментальные исследования и моделирование фундаментальных взаимодействий» являются: атомное ядро, элементарные частицы и плазма, газообразное и конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ускорители заряженных частиц, современная электронная схемотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками, разработка ядерных и физических установок, технологии применения приборов и установок для регистрации излучений, разделения изотопных и молекулярных смесей, а также анализа веществ, радиационное воздействие ионизирующих излучений на человека и окружающую среду, радиационные технологии в медицине,</p>	<p>ПК-6 [1] - Способен к контролю соблюдения технологической дисциплины и обслуживания оборудования</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>З-ПК-6[1] - знать технические характеристики и принципы безопасного обслуживания технологического оборудования ; У-ПК-6[1] - уметь контролировать соблюдение технологической дисциплины и обслуживание оборудования; В-ПК-6[1] - владеть методами контроля, проверок и испытаний систем и навыками выявления неисправностей в работе оборудования</p>

	<p>математические модели для теоретических, экспериментальных и прикладных исследований явлений и закономерностей в области физики ядра, частиц, плазмы, газообразного и конденсированного состояния вещества, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики.</p>		
<p>4 Организация защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия; организация рабочих мест, их техническое оснащение, размещение технологического оборудования; контроль за соблюдением технологической дисциплины и обслуживание технологического оборудования; метрологическое обеспечение технологических процессов,</p>	<p>4 Объектами профессиональной деятельности выпускников по основной образовательной программе «Экспериментальные исследования и моделирование фундаментальных взаимодействий» являются: атомное ядро, элементарные частицы и плазма, газообразное и конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ускорители заряженных частиц, современная электронная схмотехника, электронные системы</p>	<p>ПК-7 [1] - Способен к монтажу, наладке, настройке, регулировке, испытанию и сдаче в эксплуатацию оборудования и программных средств</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>З-ПК-7[1] - Знать требования стандартов при проведении монтажа, наладки, настройки, регулировки, испытаний оборудования и программных средств. ; У-ПК-7[1] - Уметь проводить монтаж, наладку, настройку, регулировку, испытание оборудования и программных средств; В-ПК-7[1] - Владеть навыками монтажа, наладки, настройки, регулировки, испытания и ввода в эксплуатацию оборудования и программных</p>

<p>использование типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; участие в работах по доводке и освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых установок, приборов и систем; наладка, настройка, регулировка и опытная проверка оборудования и программных средств; монтаж, наладка, испытания и сдача работ в необходимые сроки заказчику</p>	<p>ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками, разработка ядерных и физических установок, технологии применения приборов и установок для регистрации излучений, разделения изотопных и молекулярных смесей, а также анализа веществ, радиационное воздействие ионизирующих излучений на человека и окружающую среду, радиационные технологии в медицине, математические модели для теоретических, экспериментальных и прикладных исследований явлений и закономерностей в области физики ядра, частиц, плазмы, газообразного и конденсированного состояния вещества, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики.</p>		<p>средств</p>
<p>организационно-управленческий</p>			

<p>2 Составление технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование и т.п.), а также установленной отчетности по утвержденным формам; выполнение работ по метрологии, стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов; организация работы малых коллективов исполнителей; планирование работы персонала и фондов оплаты труда; подготовка исходных данных для выбора и обоснования научно - технических и организационных решений на основе экономического анализа; подготовка документации для создания системы менеджмента качества предприятия; разработка оперативных планов работы первичных производственных подразделений, проведение анализа затрат и результатов деятельности производственных подразделений.</p>	<p>2 Объектами профессиональной деятельности выпускников по основной образовательной программе «Экспериментальные исследования и моделирование фундаментальных взаимодействий» являются: атомное ядро, элементарные частицы и плазма, газообразное и конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ускорители заряженных частиц, современная электронная схмотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками, разработка ядерных и физических установок, технологии применения приборов и установок для регистрации излучений, разделения изотопных и молекулярных смесей, а также анализа веществ, радиационное воздействие ионизирующих излучений на человека и окружающую среду, радиационные технологии в медицине, математические</p>	<p>ПК-13.2 [1] - Способен к подготовке предложений для составления планов и методических программ исследований и разработок, практических рекомендаций по исполнению их результатов;</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>3-ПК-13.2[1] - Знать цели и задачи проводимых исследований и разработок, методы и средства планирования и организации исследований и разработок, методы анализа и обобщения отечественного и международного опыта в соответствующей области исследования; У-ПК-13.2[1] - Уметь применять нормативную документацию в соответствующей области знаний, методы анализа научно- технической информации, способы подготовки предложений по составлению планов и методических программ исследований и разработок; В-ПК-13.2[1] - Владеть способами решения задач аналитического характера, предполагающих выбор актуальных способов решения поставленных научно-технических задач</p>
--	--	---	---

	<p>модели для теоретических, экспериментальных и прикладных исследований явлений и закономерностей в области физики ядра, частиц, плазмы, газообразного и конденсированного состояния вещества, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики.</p>		
--	---	--	--

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
-----------------------------	-------------------------	------------------------------------

#### 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>7 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	8/8/0		25	КИ-8	З-ПК-6, У-ПК-6, В-

							ПК-6, 3-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7
2	Часть 2	9-16	8/8/0		25	КИ-16	3-ПК-13.2, У-ПК-13.2, В-ПК-13.2
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		16/16/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 7 Семестр</b>				50	Э	3-ПК-13.2, У-ПК-13.2, В-ПК-13.2, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6, 3-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7

\* – 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

Недел	Темы занятий / Содержание	Лек.,	Пр./сем.	Лаб.,
-------	---------------------------	-------	----------	-------



и		час.	, час.	час.
	7 Семестр	16	16	0
1-8	<b>Часть 1</b>	8	8	0
1 - 2	<b>Введение. Обработка данных в современной экспериментальной физике.</b> Дискретные и непрерывные случайные величины. Свойства и числовые характеристики основных распределений.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
2 - 4	<b>Потоки событий.</b> Пуассоновский поток событий - математическая модель, условия применимости для описания реальных потоков. Потоки событий - производные от пуассоновского. Каскадные процессы - примеры из физики детекторов.	Всего аудиторных часов		
		3	3	0
		Онлайн		
		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	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
7 - 8	<b>Погрешности косвенных измерений.</b> Оценка параметров генеральной совокупности методом моментов и максимального правдоподобия.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	<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	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	<b>Часть 2</b>	8	8	0
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	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
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	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
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	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
15 - 16	<b>Основные прием 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	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозна	Полное наименование
--------	---------------------

<b>чение</b>	
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 ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>7 Семестр</i>
2	<b>Р.1</b> Свойства пуассоновского потока.
4	<b>Р.2</b> Проверка статистических гипотез и критерии согласия.
6	<b>Р.3</b> Линейный метод наименьших квадратов.
8	<b>Р.4</b> Методы оценивания и надежность оценок.

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В процессе освоения курса помимо лекций используются:

- семестровый лабораторный практикум;
- оперативное решение студентами качественных задач по ходу лекции с последующим обсуждением;
- домашнее задание, охватывающее основные разделы курса.

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

## 7. 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-13.2	З-ПК-13.2	Э, КИ-16
	У-ПК-13.2	Э, КИ-16
	В-ПК-13.2	Э, КИ-16
ПК-6	З-ПК-6	Э, КИ-8
	У-ПК-6	Э, КИ-8

	В-ПК-6	Э, КИ-8
ПК-7	З-ПК-7	Э, КИ-8
	У-ПК-7	Э, КИ-8
	В-ПК-7	Э, 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-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – <i>«отлично»</i>	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – <i>«хорошо»</i>	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – <i>«удовлетворительно»</i>	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – <i>«неудовлетворительно»</i>	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

## 8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

## ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ А22 Advanced Statistical Methods in Data Science : , Singapore: Springer Singapore, 2016
2. ЭИ К82 Лабораторный практикум по курсу "Статистические методы обработки информации" : , Москва: НИЯУ МИФИ, 2015
3. 539.1 Б73 Практикум по методам обработки и моделирования в современных экспериментах по физике высоких энергий : учебное пособие для вузов, А. А. Богданов, К. О. Лapidус, С. Л. Тимошенко, Москва: МИФИ, 2008

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 539.1 П99 Лабораторный практикум по курсу "Методы обработки результатов измерений" : , Пятков Ю.В., Федотов С.Н., Москва: МИФИ, 2001
2. 539.1 В24 Введение в физику тяжелых ионов : учебное пособие для вузов, ред. : Ю. Ц. Оганесян, Москва: МИФИ, 2008

## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

## LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

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

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

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

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

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

Рекомендации по изучению отдельных разделов курса.

Введение.

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.

## 11. 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.

Рецензент(ы):

Окороков В.А.