

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ  
КАФЕДРА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/1223-573.1

от 19.12.2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**СТАТИСТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ДЕТЕКТОРАХ ИЗЛУЧЕНИЙ (ЧАСТЬ 2)**

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
8	4	144	30	10	0		40	10	Э
Итого	4	144	30	10	0	0	40	10	

## АННОТАЦИЯ

Курс по подготовке выпускников в области методов ядерной физики. Рассматриваются статистические явления в детекторах излучений различных типов, особенности взаимодействия излучений с веществом детекторов, случайные процессы в электронных трактах измерительной аппаратуры.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- изучение статистических явлений в детекторах излучений и случайных процессов в электронных трактах измерительной аппаратуры.
- приобретение навыков анализа экспериментальных данных и их соответствующей коррекции при наличии искажений (вычисления и моделирование в среде Mathcad).

### 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.

### 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	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции

		опыта)	
производственно-технологический			
контроль соблюдения технологической дисциплины при изготовлении и обслуживании технологического оборудования для реализации производственных процессов;	разработка ядерных и физических установок, технологии применения приборов и установок для регистрации излучений, разделения изотопных и молекулярных смесей, а также анализа веществ,	ПК-6 [1] - Способен к контролю соблюдения технологической дисциплины и обслуживания оборудования  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	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
монтаж, наладка, испытания и сдача в эксплуатацию новых образцов изделий, узлов и деталей выпускаемой продукции;	разработка ядерных и физических установок, технологии применения приборов и установок для регистрации излучений, разделения изотопных и молекулярных смесей, а также анализа веществ	ПК-7 [1] - Способен к монтажу, наладке, настройке, регулировке, испытанию и сдаче в эксплуатацию оборудования и программных средств  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	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 средств
организационно-управленческий			

<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 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, 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>8 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	24/8/0		25	КИ-8	3-ПК-13.2, У-ПК-13.2,

							В-ПК-13.2
2	Часть 2	9-10	6/2/0		25	КИ-10	3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6, 3-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7
	<i>Итого за 8 Семестр</i>		30/10/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 8 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.
	8 Семестр	30	10	0
1-8	<b>Часть 1</b>	24	8	0
1	<b>Обработка данных в современной экспериментальной физике.</b> Дискретные и непрерывные случайные величины. Свойства и числовые характеристики основных распределений.	Всего аудиторных часов		
		3	1	
		Онлайн		
2 - 3	<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		
		6	2	
		Онлайн		
4 - 5	<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		
		6	2	
		Онлайн		
6 - 7	<b>Погрешности косвенных измерений.</b> Оценка параметров генеральной совокупности методом моментов и максимального правдоподобия.	Всего аудиторных часов		
		6	2	
		Онлайн		
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		
		3	1	
		Онлайн		
9-10	<b>Часть 2</b>	6	2	0
9	<b>Статистическая проверка гипотез. Линейный метод наименьших квадратов.</b> Основные понятия и определения. Общая логическая проверка нулевой гипотезы. Ошибки первого и второго рода. Мощность критерия. 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		
		3	1	
		Онлайн		
10	<b>Задача о выборе рекомендованного значения. Основные приемы обработки спектрометрической информации.</b> Выдвижение и проверка гипотез о происхождении ряда измерений. Надежность рекомендованного значения физической величины. Выбор шага дискретизации. Оценка площади и положения максимума пика в линейчатом спектре. Понятие об автоматической обработке линейчатых спектров.	Всего аудиторных часов		
		3	1	
		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

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В процессе освоения курса помимо лекций используются:

- оперативное решение студентами задач вычисления и моделирование в среде Mathcad по ходу лекции с последующим обсуждением;
- предусматривается самостоятельная внеаудиторная работа – обработка полученных экспериментальных данных, их анализ и интерпретация.

## 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-8
	У-ПК-13.2	Э, КИ-8
	В-ПК-13.2	Э, КИ-8
ПК-6	З-ПК-6	Э, КИ-10
	У-ПК-6	Э, КИ-10
	В-ПК-6	Э, КИ-10
ПК-7	З-ПК-7	Э, КИ-10
	У-ПК-7	Э, КИ-10
	В-ПК-7	Э, КИ-10

## 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	Оценка по 4-ех	Оценка	Требования к уровню освоению
-------	----------------	--------	------------------------------



баллов	балльной шкале	ECTS	учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	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 – «хорошо»	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 – «удовлетворительно»	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 – «неудовлетворительно»	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.

Оценочные средства приведены в Приложении.

## 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. Лапидус, 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**

Обратить при подготовке к итоговой аттестации внимание на следующие разделы и подразделы курса:

1. Свойства производящих и характеристических функций.

Обратить внимание на вычисление параметров распределений.

2. Пуассоновский поток событий. Распределение временных интервалов. Распределение Пуассона. Производящая функция.

Уяснить общий смысл термина «поток», четко понимать каждый пункт в определении пуассоновского потока.

3. Примеры физических процессов с нарушениями " пуассоновости". Потoki, порожденные пуассоновским потоком.

Научиться на практике отделять пуассоновский поток событий от "непуассоновского".

4. Поток Эрланга. Распределение числа событий за фиксированный интервал времени. Распределение интервалов.

Необходимо четко понимать как трансформируются распределения при возрастании коэффициента пересчета.

5. Моделирование данных и расчеты параметров потоков в среде Mathcad .

Владеть навыками работы в среде Mathcad.

6. Нестационарный поток. Условие квазистационарности. Поток событий конечной длительности. Распределение числа событий за фиксированный интервал времени. Присчеты при регистрации числа частиц.

Обратить внимание на нарушение пункта "отсутствие последействия " в определении пуассоновского потока событий.

7. Простейшие ветвящиеся (каскадные, лавинные) процессы. Процессы размножения частиц. Производящие функции. Процессы, развивающиеся во времени и в пространстве.

Освоить приемы вычисления производящих функций для ветвящихся процессов в среде Mathcad.

8. Расчет в среде Mathcad характеристик сигнала ФЭУ (параметров распределения числа вторичных электронов на аноде) в составе сцинтилляционного спектрометра.

Обратить внимание на зависимость разрешения спектрометра от интенсивности вспышки в сцинтилляторе.

9. Расчет в среде Mathcad характеристик пространственного распределения числа вторичных нейтронов на примере цепной реакции.

Обратить внимание на зависимость среднего числа нейтронов от числа взаимодействий нейтронов с ядрами.

10. Элементы спектрального анализа. Свойства преобразования Фурье. Связь преобразования Фурье с характеристическими функциями. Теорема о свертке.

Освоить приемы вычисления характеристических функций.

11. Преобразование Фурье на конечном временном интервале. Эффект "временного окна". Дискретное преобразование Фурье. Эффект "наложения частот".

Обратить внимание на роль частоты Найквиста.

12. Примеры расчетов эффектов "временного окна" и "наложения частот" в среде Mathcad.

Производить расчеты следует для различных длин отрезков и чисел разбиения этих отрезков.

13. Эффект наложения импульсов в тракте спектрометра. Характеристическая функция значений базовой линии как функции загрузки тракта, формы импульса и амплитудного спектра.

Обратить внимание на связь производящих функций с характеристическими функциями.

14. Расчет в среде Mathcad искаженного амплитудного спектра вследствие наложений импульсов в тракте спектрометра.

Учесть эффекты "временного окна" и "наложения частот".

15. Восстановление амплитудных спектров, искаженных вследствие наложений импульсов в тракте спектрометра. Восстановление реальных спектров в среде Mathcad.

Следует избегать некорректности при решении задачи.

## **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.