

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
природоподобных, плазменных и
ядерных технологий им. И.В.**

Курчатова

Т.Е. Григорьев

Рабочая программа дисциплины (модуля)

по дисциплине: Приборы и методика эксперимента в физике высоких энергий: лабораторный практикум

по направлению: Прикладные математика и физика

профиль подготовки: Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий
Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова
кафедра теоретической астрофизики и квантовой теории поля

курс: 3

квалификация: бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

6 (весенний) - Дифференцированный зачет

7 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 150 всего, в том числе:

лекции: 60 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 90 час.

Самостоятельная работа: 165 час.

Всего часов: 315, всего зач. ед.: 7

Программу составил: В.П. Утробин, д-р физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры теоретической астрофизики и квантовой теории поля 31.03.2025

Аннотация

Курс включает в себя знакомство с экспериментальной физикой высоких энергий, приобретение практических навыков работы с детекторами элементарных частиц и специализированным программным обеспечением для моделирования прохождения излучения через вещество (Geant4) и статистического анализа данных (ROOT). Курс предназначен для студентов – экспериментаторов в области физики высоких энергий.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Изучение слушателями физических механизмов и принципов работы детекторов частиц, а также практическое овладение общелабораторными и специализированными приборами и детекторами. Курс предназначен для студентов – экспериментаторов в области физики высоких энергий.

Задачи дисциплины

Освоение студентами основных методов работы с приборами, сбора и обработки данных, применяемых в физике частиц.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин
	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-1.5 Владеет навыками безопасной работы с современными научными приборами и другим экспериментальным оборудованием
	ПК-1.6 Знает основные правила поведения и работы в современной научной лаборатории
	ПК-1.7 Способен оценивать требуемые ресурсы (материальные и временные) для планирования и проведения научного эксперимента
	ПК-1.8 Владеет навыками работы с современными языками программирования и программными пакетами для научных расчетов
	ПК-1.9 Знает перечень ведущих периодических научных изданий и способен выделять актуальные научные публикации в профессиональной области
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.1 Владеет методами статистической обработки и анализа научных данных
	ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины
	ПК-2.3 Способен представлять научные утверждения, их обоснования и доказательства, научные проблемы и их решения ясно и точно в терминах, понятных для профессиональной аудитории, в письменной и устной форме
	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования

ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений
	ПК-3.3 Умеет производить оценку точности численных методов, используемых на ЭВМ, вычислительной сложности используемых алгоритмов и объема требуемых вычислительных ресурсов

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

Методы анализа данных в физическом эксперименте.

Методики проведения эксперимента.

Методы работы основных приборов.

уметь:

Применять полученные знания по основным методам работы с приборами, сбора и обработки данных, применяемых в физике частиц

владеть:

Базовой теорией работы приборов детекторов.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Общелабораторные цифровые приборы.	10		10	20
2	Ячеистый лавинный фотодиод.	5		5	20
3	Измерение импульсных характеристик ЯЛФД.	5		5	20
4	Изучение корреляций статических характеристик ЯЛФД.	10		10	15
5	Стабилизация температуры платы ЯЛФД.	5		10	15
6	Программное обеспечение в ФВЭ.	5		10	15
7	Программный пакет ROOT.	5		15	20
8	Метод Монте-Карло.	5		15	20
9	Моделирование взаимодействий в веществе.	10		10	20
Итого часов		60		90	165
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		315 час., 7 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 6 (Весенний)

1. Общелабораторные цифровые приборы.

Общелабораторные цифровые приборы: генератор, осциллограф, коммутатор, пикоамперметр. Передача и измерение сигналов. Автоматизированный измерительный стенд на основе протокола GPIB.

2. Ячеистый лавинный фотодиод.

Ячеистый лавинный фотодиод (ЯЛФД, SiPM) - перспективный фотоприемник для детекторов частиц. Измерение вольтамперных характеристик (ВАХ) ЯЛФД (SiPM); эквивалентная схема SiPM и ее параметры.

3. Измерение импульсных характеристик ЯЛФД.

Измерение импульсных характеристик ЯЛФД. Измерение вкладов cross-talk и послеимпульсов. Пуассоновская статистика процессов.

4. Изучение корреляций статических характеристик ЯЛФД.

Изучение корреляций статических (ВАХ) и импульсных характеристик ЯЛФД.

Семестр: 7 (Осенний)

5. Стабилизация температуры платы ЯЛФД .

Стабилизация температуры платы ЯЛФД на основе элемента Пелтье. Измерение температурных зависимостей характеристик ЯЛФД.

6. Программное обеспечение в ФВЭ.

Программное обеспечение в ФВЭ. Реконструкция событий. Моделирование. Анализ данных.

7. Программный пакет ROOT.

Программный пакет ROOT. Создание и заполнение гистограмм. Аппроксимация графиков и гистограмм. Действия с гистограммами. Вычисление статистических погрешностей. «Деревья ROOT». Создание и заполнение. Анализ данных с использованием «деревьев». Сохранение данных в файлы ROOT.

8. Метод Монте-Карло.

Метод Монте-Карло. Моделирование отклика детектора. Программный пакет GEANT4. Описание геометрии детектора в пакете GEANT4. Создание модели простого детектора.

9. Моделирование взаимодействий в веществе.

Моделирование взаимодействий в веществе. Расчет ионизационных потерь в детекторе. Моделирование отклика. Визуализация и сохранение результатов моделирования. Обработка результатов с помощью пакета ROOT.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Необходимое лабораторное оснащение.

6.Перечень рекомендуемой литературы

1. И.М.Соболь Численные методы Монте-Карло. Наука, М. 1973
2. Е.Бюклинг, К.Каянти Кинематика элементарных частиц, Мир, М. 1975
3. С.М.Ермаков, Метод Монте-Карло и смежные вопросы, Наука, М., 1975
4. М. Реглер Методы анализа данных в физическом эксперименте, Мир, М., 1993
5. Г.И.Копылов Основы кинематики резонансов, Наука, М. 1970
6. К. Грүпен Детекторы элементарных частиц, Сибирский хронограф, Новосибирск, 1999

Дополнительная литература

1. А.И.Абрамов, Ю.А.Казанский, Е.С.Матусевич. Основы экспериментальных методов ядерной физики. М.:Энергоатомиздат, 1985.
2. Ю.А.Будагов и др. Ионизационные измерения в физике высоких энергий. М.: Энергоатомиздат, 1988.
3. Ю.К.Акимов. Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике. М.:Энергоатомиздат, 1989
4. Ю.К.Акимов Фотонные методы регистрации излучений. Дубна: ОИЯИ, 2006
5. К.Клайнкнехт. Детекторы корпускулярных излучений. М.: Мир, 1990.
6. Walter Blum, Werner Riegler, Luigi Rolandi. Particle Detection with Drift Chambers. Springer, 2008. e-ISBN: 978-3-540-76684-1
7. C.Grupen. Particle Detectors. Cambridge: University Press. 1992

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Не используются

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Программный пакет ROOT.
Программный пакет Geant4.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Методические указания для обучающихся предоставляются в электронном виде (файлы Word и PDF) в форме подробного описания теоретической и практической частей каждого лекционно-лабораторного занятия.

Каждый из разделов современной электроники, представленных отдельными темами в программе данного курса, содержит значительно больше сведений по сравнению с тем, с чем удастся познакомить учащихся в отведенное время. Поэтому существенно, как именно производится отбор учебного материала и с какой степенью подробности разбираются вопросы, рассмотрение которых предусмотрено программой.

Ответ на эти вопросы можно найти в описаниях лабораторных работ, выполнение которых сопровождает изучение студентами соответствующих тем, и в перечне упражнений, который содержится в заданиях к этим работам.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий Физтех-школа природоподобных, плазменных и ядерных технологий им. И.В. Курчатова кафедра теоретической астрофизики и квантовой теории поля
курс:	<u>3</u>
квалификация:	бакалавр
Семестры, формы промежуточной аттестации:	
6 (весенний) - Дифференцированный зачет	
7 (осенний) - Дифференцированный зачет	
Разработчик:	В.П. Утробин, д-р физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин
	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-1.5 Владеет навыками безопасной работы с современными научными приборами и другим экспериментальным оборудованием
	ПК-1.6 Знает основные правила поведения и работы в современной научной лаборатории
	ПК-1.7 Способен оценивать требуемые ресурсы (материальные и временные) для планирования и проведения научного эксперимента
	ПК-1.8 Владеет навыками работы с современными языками программирования и программными пакетами для научных расчетов
	ПК-1.9 Знает перечень ведущих периодических научных изданий и способен выделять актуальные научные публикации в профессиональной области
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.1 Владеет методами статистической обработки и анализа научных данных
	ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины
	ПК-2.3 Способен представлять научные утверждения, их обоснования и доказательства, научные проблемы и их решения ясно и точно в терминах, понятных для профессиональной аудитории, в письменной и устной форме
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования
	ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений
	ПК-3.3 Умеет производить оценку точности численных методов, используемых на ЭВМ, вычислительной сложности используемых алгоритмов и объема требуемых вычислительных ресурсов

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Приборы и методика эксперимента в физике высоких энергий: лабораторный практикум» обучающийся должен:

знать:

- Методы анализа данных в физическом эксперименте.
- Методики проведения эксперимента.
- Методы работы основных приборов.

уметь:

Применять полученные знания по основным методам работы с приборами, сбора и обработки данных, применяемых в физике частиц

владеть:

Базовой теорией работы приборов детекторов.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлого занятия.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Перечень контрольных вопросов в 6 семестре:

1. Общелабораторные цифровые приборы: генератор, осциллограф, коммутатор, пикоамперметр.
2. Передача и измерение сигналов.
3. Автоматизированный измерительный стенд на основе протокола GPIB.
4. Ячеистый лавинный фотодиод (ЯЛФД, SiPM) - перспективный фотоприемник для детекторов частиц.
5. Измерение вольтамперных характеристик (ВАХ) ЯЛФД (SiPM); эквивалентная схема SiPM и ее параметры.
6. Измерение импульсных характеристик ЯЛФД.
7. Измерение вкладов кросс-токов и послеимпульсов.
8. Пуассоновская статистика процессов.
9. Изучение корреляций статических (ВАХ) и импульсных характеристик ЯЛФД.
10. Моделирование и измерение характеристик усилителя для ЯЛФД.
11. Интегрированная цифровая многоканальная электроника обработки сигналов ЯЛФД
12. Стабилизация температуры платы ЯЛФД на основе элемента Пелтье.
13. Измерение температурных зависимостей характеристик ЯЛФД.

Перечень контрольных вопросов в 7 семестре:

1. Программное обеспечение в ФВЭ.
2. Реконструкция событий. Моделирование. Анализ данных.
3. Программный пакет ROOT. Создание и заполнение гистограмм. Аппроксимация графиков и гистограмм. Действия с гистограммами. Вычисление статистических погрешностей.
4. «Деревья ROOT». Создание и заполнение. Анализ данных с использованием «деревьев». Сохранение данных в файлы ROOT.
5. Метод Монте-Карло. Моделирование отклика детектора.
6. Программный пакет GEANT4. Описание геометрии детектора в пакете GEANT4. Создание модели простого детектора.
7. Моделирование взаимодействий в веществе.
8. Расчет ионизационных потерь в детекторе. Моделирование отклика.
9. Визуализация и сохранение результатов моделирования.
10. Обработка результатов с помощью пакета ROOT.

Критерии оценивания

Оценка «отлично (10)» выставляется обучающемуся, если он правильно отвечает на все 10 вопросов, заданных ему на коллоквиуме.

Оценка «отлично (9)» выставляется обучающемуся, если он правильно отвечает на 9 из 10 вопросов, заданных ему на коллоквиуме.

Оценка «отлично (8)» выставляется обучающемуся, если он правильно отвечает на 8 из 10 вопросов, заданных ему на коллоквиуме.

Оценка «хорошо (7)» выставляется обучающемуся, если он правильно отвечает на 7 из 10 вопросов, заданных ему на коллоквиуме.

Оценка «хорошо (6)» выставляется обучающемуся, если он правильно отвечает на 6 из 10 вопросов, заданных ему на коллоквиуме.

Оценка «хорошо (5)» выставляется обучающемуся, если он правильно отвечает на 5 из 10 вопросов, заданных ему на коллоквиуме.

Оценка «удовлетворительно (4)» выставляется обучающемуся, если он правильно отвечает на 4 из 10 вопросов, заданных ему на коллоквиуме.

Оценка «удовлетворительно (3)» выставляется обучающемуся, если он правильно отвечает на 3 из 10 вопросов, заданных ему на коллоквиуме.

Оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется обучающемуся, если он правильно отвечает на 2 из 10 вопросов, заданных ему на коллоквиуме.

Оценка «неудовлетворительно (1)» выставляется обучающемуся, если он правильно отвечает на 1 из 10 заданных ему вопросов.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Устный дифференцированный зачет проводится в форме коллоквиума. При проведении оценивания знаний обучающемуся предоставляется время на подготовку на усмотрение экзаменатора. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа. Оценивание знаний производится в соответствии с вышеуказанными критериями в соответствии с содержанием дисциплины.