

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
«Московский физико-технический институт (государственный университет)»
МФТИ

«УТВЕРЖДАЮ»
Проректор по учебной и методической работе
_____ Д.А. Зубцов
« » _____ 20 г.

Рабочая программа дисциплины (модуля)

по дисциплине: Экспериментальная ядерная физика

по направлению: 010900 «Прикладные математика и физика»

профиль подготовки

магистерская программа: 010915 «Физика высоких энергий»

факультет: ФОПФ

кафедра: Фундаментальных и прикладных проблем физики микромира

курс: 5

квалификация: магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации:

1 (Осенний) – Экзамен, 2 (Весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 102 всего, в том числе:

лекции: 68 час.

практические (семинарские) занятия: 34 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 68 час., в том числе:
задания, курсовые работы: 0 час.

Подготовка к экзамену: 60 час.

Всего часов: 230, всего зач. ед.: 7

Программу составил: д.ф.-м.н. Куликов А.В.

Программа обсуждена на заседании кафедры
14 октября 2014 г.

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий кафедрой

Казаков Д.И.

Декан ФОПФ

Трунин М.Р.

Начальник учебного управления

Гарайшина И.Р.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Основной целью данной дисциплины является обучение основным способам регистрации и измерения свойств элементарных частиц, применяемым в экспериментальной ядерной физике. Рассматриваются основы проектирования экспериментальных ядерно-физических установок.

Задачи дисциплины

ознакомление с основными видами взаимодействия частиц с веществом;

формирование знаний принципов работы и устройства основных типов детекторов¹ частиц в физике высоких и промежуточных энергий;

объяснение способов измерения энергии, скорости и импульса элементарных частиц и методов их идентификации;

обучение методам расчета и конструирования экспериментальных ядерно-физических установок.

2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы магистратуры

Дисциплина «Экспериментальная ядерная физика» включает в себя разделы, которые могут быть отнесены к вариативной части профессионального цикла ООП М.2.

Дисциплина «Экспериментальная ядерная физика» базируется на материалах курсов, читаемых в рамках базовой и вариативной частей УЦ ООП Б.2 и Б.3 (Основы современной физики (общая физика), Физика элементарных частиц, Введение в специальность), и относится к профессиональному циклу.

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Освоение дисциплины «Экспериментальная ядерная физика» направлено на формирование следующих общекультурных и профессиональных компетенций магистра:

а) общекультурные (ОК):

- компетенция самообразования и самоорганизации (ОК-1);
- компетенция получения знаний и использования новой информации (ОК-3);
- компетенция креативности (ОК-5);

б) профессиональные (ПК):

- компетенция профессионального пользования информацией (ПК-1);
- компетенция профессиональной аналитической деятельности (ПК-2);
- компетенция количественного описания явлений и процессов (ПК-11);
- способность к участию в разработке и реализации проекта (научной или инновационной программы) в качестве исполнителя, ответственного за

самостоятельный участок работы или в качестве руководителя малого коллектива исполнителей (ПК-20).

В результате освоения дисциплины «Экспериментальная ядерная физика» обучающийся должен:

знать:

- основные виды взаимодействия частиц с веществом;
- принцип работы и устройство основных типов детекторов частиц в физике высоких и промежуточных энергий;
- способы измерения энергии, скорости и импульса элементарных частиц, методы их идентификации;
- принципы конструирования экспериментальных установок

уметь:

- эффективно применять вышеуказанные знания на практике для решения фундаментальных и прикладных научных задач в области современной физики элементарных частиц.

владеть:

- техникой и методами расчета характеристик и основных параметров проектируемых экспериментальных ядерно-физических установок

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

№ п/п	Тема (раздел) дисциплины	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу				
		Лекции	Практич. (семинар.) задания.	Лаборат. работы	Задания, курсовые работы	Самост. работа.
1.	Введение	2	1	0	0	2
2.	Ионизационные потери тяжелых заряженных частиц.	2	1	0	0	2
3.	Пробег заряженных частиц в веществе.	2	1	0	0	2
4.	Тормозное излучение.	2	1	0	0	2
5.	Кулоновское взаимодействие частиц с ядрами.	2	1	0	0	2
6.	Излучение Вавилова-Черенкова.	2	1	0	0	2

7.	Взаимодействие фотонов с веществом	2	1	0	0	2
8.	Взаимодействие нейтронов с веществом.	2	1	0	0	2
9.	Сцинтилляционные детекторы	2	1	0	0	2
10.	Фотоумножители.	2	1	0	0	2
11.	Вопросы светосбора и магнитной защиты.	2	1	0	0	2
12.	Черенковские детекторы.	2	1	0	0	2
13.	Газоразрядные детекторы.	2	1	0	0	2
14.	Режимы работы газоразрядных детекторов	2	1	0	0	2
15.	Ионизационные, пропорциональные, дрейфовые, искровые камеры.	2	1	0	0	2
16.	Полупроводниковые детекторы.	2	1	0	0	2
17.	Ядерные фотоэмульсии.	2	1	0	0	2
18.	Две концепции экспериментальных установок.	2	1	0	0	2
19.	Структура установок на коллайдерах	2	1	0	0	2
20.	Измерение импульсов частиц в магнитном поле.	2	1	0	0	2
21.	Вершинные детекторы.	2	1	0	0	2
22.	Калориметры.	2	1	0	0	2
23.	Энергетическое разрешение калориметров.	2	1	0	0	2
24.	Мюонные детекторы.	2	1	0	0	2
25.	Методы идентификации частиц.	2	1	0	0	2

26.	Нейтринные детекторы.	2	1	0	0	2
27.	Электроника в ядерно-физическом эксперименте.	2	1	0	0	2
28.	Элементы триггерной электроники.	2	1	0	0	2
29.	Случайные совпадения в двух или нескольких каналах.	2	1	0	0	2
30.	Стандарты электроники	2	1	0	0	2
31.	Триггерные системы.	2	1	0	0	2
32.	Системы сбора данных (DAQ).	4	2	0	0	4
33.	Системы триггера и сбора данных в крупных экспериментах	2	1	0	0	2
Итого часов		68	34	0	0	68
Общая трудоемкость		170 час., 7 зач.ед.				

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

Семестр: 1 (Осенний), 2 (Весенний)

1 Введение

Обзор материала курса. Классификация и основные характеристики детекторов. Процессы, происходящие при прохождении частиц через вещество.

2 Ионизационные потери тяжелых заряженных частиц.

Ионизационные потери тяжелых заряженных частиц. Вывод формулы Бете-Блоха и ее анализ.

3 Пробег заряженных частиц в веществе.

Пробег заряженных частиц в веществе. Флуктуации ионизационных потерь. Дельта-электроны. Ионизационные потери электронов.

4 Тормозное излучение.

Тормозное излучение. Формула Бете-Гайтлера. Радиационная длина. Критическая энергия.

5 Кулоновское взаимодействие частиц с ядрами.

Кулоновское взаимодействие частиц с ядрами. Многократное рассеяние.

6 Излучение Вавилова-Черенкова.

Излучение Вавилова-Черенкова. Физические основы черенковского излучения и его характеристики. Переходное излучение.

7 Взаимодействие фотонов с веществом

Взаимодействие фотонов с веществом: фотоэффект, комптоновское рассеяние, рождение e^+e^- пар.

8 Взаимодействие нейтронов с веществом.

Взаимодействие нейтронов с веществом. Упругое и неупругое рассеяние нейтронов. Ядерные реакции.

9 Сцинтилляционные детекторы

Сцинтилляционные детекторы. Сцинтилляционные материалы. Характеристики сцинтилляторов.

10 Фотоумножители.

Фотоумножители. Характеристики ФЭУ. Система питания ФЭУ. Шумы ФЭУ.

11 Вопросы светосбора и магнитной защиты.

Вопросы светосбора и магнитной защиты. Полупроводниковые фотоприемники. Временное и энергетическое разрешение сцинтилляционных детекторов.

12 Черенковские детекторы.

Черенковские детекторы. Типы радиаторов (газ, жидкость, твердое тело, аэрогель). Сместители спектра. Пороговые и дифференциальные счетчики. Спектрометры полного поглощения. RICH детекторы.

13 Газоразрядные детекторы.

Газоразрядные детекторы. Физика газового разряда. Лавинное усиление. Пропорциональный счетчик.

14 Режимы работы газоразрядных детекторов

Выбор газового наполнения. Режимы работы газоразрядных детекторов: пропорциональный, гейгеровский, стримерный, искровой.

15 Ионизационные, пропорциональные, дрейфовые, искровые камеры.

Ионизационные, пропорциональные, дрейфовые, искровые камеры. Варианты конструкции. Основы реконструкции треков.

16 Полупроводниковые детекторы.

Полупроводниковые детекторы. Физические основы работы полупроводниковых детекторов. Поверхностно-барьерные, диффузионно-дрейфовые детекторы. Микростриповые детекторы.

17 Ядерные фотоэмульсии.

Ядерные фотоэмульсии. «Классические» детекторы прежних лет: камеры Вильсона, диффузионные камеры, пузырьковые камеры.

18 Две концепции экспериментальных установок.

Экспериментальные установки с фиксированной мишенью и установки на коллайдерах: сравнение двух концепций. Типы мишеней: твердотельные, струйные, pellet, поляризованные.

19 Структура установок на коллайдерах

«Луковичная» структура установок на коллайдерах (внутренний трекер, электромагнитный и адронный калориметры, мюонная система). Примеры крупных установок на коллайдерах.

20 Измерение импульсов частиц в магнитном поле.

Измерение импульсов частиц в магнитном поле. Разрешение по импульсу. Типы используемых магнитов: дипольные, соленоидальные, тороидальные.

21 Вершинные детекторы.

Вершинные детекторы: полупроводниковые (микростриповые, пиксельные), сцинтилляционные фиберные, straw, TPC, группа детекторов MPGD (MSGC, GEM, Micromegas).

22 Калориметры.

Калориметры. Классификация калориметров по назначению (электромагнитные, адронные) и по структуре (гомогенные, слоистые).

23 Энергетическое разрешение калориметров.

Энергетическое разрешение калориметров. Факторы, определяющие разрешение.

24 Мюонные детекторы.

Мюонные детекторы: назначение, используемая методика, разрешение по импульсу. Примеры мюонных систем больших установок.

25 Методы идентификации частиц.

Методы идентификации частиц: по времени пролета, по скорости (пороговые черенковские, RICH, DIRC детекторы, детекторы переходного излучения), по величине ионизационных потерь, по форме развития ливня.

26 Нейтринные детекторы.

Нейтринные детекторы. Детекторы космических нейтрино, нейтринные детекторы на реакторах и на ускорителях.

27 Электроника в ядерно-физическом эксперименте.

Электроника в ядерно-физическом эксперименте. Структура аппаратуры эксперимента в целом. Front-end электроника: усилители, дискриминаторы и др.

28 Элементы триггерной электроники.

Элементы триггерной электроники: схемы совпадений, логические матрицы, цифровые задержки и др. Электронные модули цифровой обработки сигналов: ADC, TDC, счетчики, регистры.

29 Случайные совпадения в двух или нескольких каналах.

Случайные совпадения в двух или нескольких каналах. Мертвое время электроники. Просчеты.

30 Стандарты электроники

Уровни логических сигналов (NIM, ECL, TTL, LVDS). Стандарты электроники NIM, CAMAC, VME.

31 Триггерные системы.

Триггерные системы. Методы отбора событий, используемые в триггерной логике. Многоуровневый триггер.

32 Системы сбора данных (DAQ).

Системы сбора данных (DAQ). Аппаратная и программная части DAQ. Взаимодействие DAQ с триггерной системой. Организация “Slow control” и мониторингования в реальном времени.

33 Системы триггера и сбора данных в крупных экспериментах

Особенности построения систем триггера и сбора данных в крупных экспериментах. Системы триггера и DAQ в экспериментах на LHC.

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

Необходимое оборудование для лекций и практических занятий: компьютер и мультимедийное оборудование (проектор)

Необходимое программное обеспечение: Adobe Reader

Обеспечение самостоятельной работы: доступ к базе данных Particle Data Group (<http://pdg.lbl.gov>), библиотеке и электронным версиям журналов Phys. Lett., Phys. Rev., Eur. Phys. J., Nucl. Phys., Nucl. Instrum and Meth.

6. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Д.Перкинс, Введение в физику высоких энергий, М., Энергоатомиздат, 1991
2. Е.А.Мурзина. Взаимодействие излучения высокой энергии с веществом. Изд-во МГУ, 1990.
3. Ю.В.Меликов. Экспериментальная техника в ядерной физике. Изд-во МГУ, 1973.

4. А.И.Абрамов и др. Основы экспериментальных методов ядерной физики. Атомиздат, 1977.
5. Д.Ритсон. Экспериментальные методы в физике высоких энергий. Изд-во "Наука", 1964.
6. В.П.Зрелов. Излучение Вавилова-Черенкова и его применение в физике высоких энергий. Т.2. Атомиздат, 1968.
7. Ю.К.Акимов и Др. Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике. Атомиздат, 1989.
8. Ю.А.Будагов и др. Ионизационные измерения в физике высоких энергий. Атомиздат, 1988.
9. F.Sauli. Principles of operation of multiwire proportional and drift chambers. CERN 77-09, 1977.
10. Г.Д.Алексеев, В.В.Круглов, Д.М.Хазиис. Самогасящийся стримерный (СГС) разряд в проволочной камере. ЭЧАЯ, т.13, вып.3/ 1982.
11. H.J.Nilke. Detectors for particle physics. CERN, 1993/1996.
12. P.Mato. Trigger and data acquisition. CERN, 1997.

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

-

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

Информационные ресурсы: Доступные через интернет база данных Particle Data Group (<http://pdg.lbl.gov>), поисковая система INSPIRE (<http://inspirehep.net/>) и электронные версии журналов Phys. Lett., Phys. Rev., Eur. Phys. J., Nucl. Phys., Nucl. Instrum and Meth.

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

-

10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

-

11. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации по итогам обучения

Перечень контрольных вопросов для сдачи диф.зачета в 1-ом семестре:

1. Объяснить зависимость ионизационных потерь от импульса в формуле Бете-Блоха.
2. Флуктуации ионизационных потерь и их проявление в эксперименте.

3. Физическая суть излучения Вавилова-Черенкова и его свойства.
4. Сравнить характеристики двух видов излучения: черенковского и тормозного.
5. Объяснить явление многократного рассеяния и как оно проявляется в эксперименте.
6. Описать основные виды взаимодействия фотонов с веществом.
7. Общая схема сцинтилляционного детектора.
8. Фотоумножители и их характеристики.
9. Пороговые и дифференциальные черенковские счетчики.
10. Физические основы работы полупроводниковых детекторов и их основные типы.
11. Лавинное усиление и работа пропорционального счетчика.
12. Различные режимы работы газоразрядных детекторов.
13. Пропорциональные и дрейфовые камеры.

Перечень контрольных вопросов для сдачи экзамена в 2-ом семестре:

1. Особенности установок с фиксированной мишенью и установок на коллайдерах.
2. Измерение импульсов частиц в магнитном поле. Типы магнитных систем.
3. Полупроводниковые и сцинтилляционные фиберные детекторы в качестве вершинных детекторов.
4. Детекторы *straw* и *TPC*.
5. Различные типы калориметров и их сравнение.
6. Факторы, определяющие разрешение калориметра.
7. Мюонные детекторы на коллайдерах.
8. Методы идентификации частиц по времени пролета и по скорости.
9. Особенности нейтринных детекторов при изучении космических, реакторных и ускорительных нейтрино.
10. *Front-end* и триггерная электроника. Стандарты электроники.
11. Функции системы сбора данных и ее взаимодействие с триггерной системой.
12. Случайные совпадения, просчеты. Мертвое время и его источники.