

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

УТВЕРЖДЕНО

**и.о. директора физтех-школы
физики и исследований им.
Ландау**

А.А. Воронов

Рабочая программа дисциплины (модуля)

| | |
|----------------------------|---|
| по дисциплине: | Экспериментальная ядерная физика |
| по направлению: | Прикладные математика и физика |
| профиль подготовки: | Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра фундаментальных и прикладных проблем физики микромира |
| курс: | 1 |
| квалификация: | магистр |

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Экзамен

2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 90 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 60 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 75 час.

Подготовка к экзамену: 60 час.

Всего часов: 225, всего зач. ед.: 5

Программу составил: Д.В. Дедович

Программа обсуждена на заседании кафедры фундаментальных и прикладных проблем физики микромира
04.06.2020

Аннотация

Современные экспериментальные установки в ядерной физике и физике элементарных частиц представляют собой сложные и масштабные сооружения, иногда включающие в себя несколько тысяч отдельных детекторов разных типов. В зависимости от типа детектора, они способны регистрировать различные элементарные частицы и измерять их свойства, такие как импульс, энергия, тип частицы. Регистрация частицы происходит в результате ее взаимодействия с материалом детектора. Таким образом, для проектирования экспериментальных ядерно-физических установок необходимо хорошо знать закономерности физических процессов, сопровождающих прохождение частиц через вещество, принцип работы и характеристики детекторов различных типов, устройство электроники считывания и сбора данных. Изучению такого довольно широкого круга вопросов посвящен этот курс.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- 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. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

| Код и наименование компетенции | Индикаторы достижения компетенции |
|--|---|
| УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий | УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними |
| | УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации |
| | УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности |
| УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки | УК-6.1 Умеет решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности |
| ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук | ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук |
| ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи | ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности |
| | ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость |
| ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и нестандартных задач в области профессиональной деятельности | ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения |

| | |
|---|--|
| и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения | ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники) |
| ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий | ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов |
| ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты | ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности |
| ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию | ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива |
| ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области | ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ) |
| | ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ) |
| | ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов |

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

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

| № | Тема (раздел) дисциплины | Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час. | | | |
|---|--------------------------|---|----------|-----------------|----------------|
| | | Лекции | Семинары | Лаборат. работы | Самост. работа |
| 1 | Введение. | 1 | 3 | | 3 |

| | | | | | |
|-----------------------|--|---------------------|----|--|----|
| 2 | Ионизационные потери тяжелых заряженных частиц. | 1 | 3 | | 3 |
| 3 | Пробег заряженных частиц в веществе. | 1 | 3 | | 3 |
| 4 | Тормозное излучение. | 1 | 3 | | 3 |
| 5 | Кулоновское взаимодействие частиц с ядрами. | 1 | 3 | | 3 |
| 6 | Излучение Вавилова-Черенкова. | 1 | 3 | | 3 |
| 7 | Взаимодействие фотонов с веществом. | 1 | 3 | | 3 |
| 8 | Взаимодействие нейтронов с веществом. | 1 | 3 | | 3 |
| 9 | Сцинтилляционные детекторы. | 1 | 3 | | 3 |
| 10 | Фотоумножители. | 1 | 3 | | 3 |
| 11 | Вопросы светосбора и магнитной защиты. | 1 | 3 | | 3 |
| 12 | Черенковские детекторы. | 1 | 3 | | 3 |
| 13 | Газоразрядные детекторы. | 1 | 3 | | 3 |
| 14 | Режимы работы газоразрядных детекторов. Ионизационные, пропорциональные, дрейфовые, искровые камеры. | 1 | 3 | | 3 |
| 15 | Полупроводниковые детекторы. Ядерные фотоэмульсии. | 1 | 3 | | 3 |
| 16 | Две концепции экспериментальных установок. | 1 | 1 | | 2 |
| 17 | Структура установок на коллайдерах. | 1 | 1 | | 2 |
| 18 | Измерение импульсов частиц в магнитном поле. | 1 | 1 | | 2 |
| 19 | Вершинные детекторы. | 1 | 1 | | 2 |
| 20 | Калориметры. | 1 | 1 | | 2 |
| 21 | Энергетическое разрешение калориметров. | 1 | 1 | | 2 |
| 22 | Мюонные детекторы. | 1 | 1 | | 2 |
| 23 | Методы идентификации частиц. | 1 | 1 | | 2 |
| 24 | Нейтронные детекторы. | 1 | 1 | | 2 |
| 25 | Электроника в ядерно-физическом эксперименте. | 1 | 1 | | 2 |
| 26 | Элементы триггерной электроники. | 1 | 1 | | 2 |
| 27 | Случайные совпадения в двух или нескольких каналах. | 1 | 1 | | 2 |
| 28 | Стандарты электроники. | 1 | 1 | | 2 |
| 29 | Триггерные системы. Системы сбора данных (DAQ). | 1 | 1 | | 2 |
| 30 | Системы триггера и сбора данных в крупных экспериментах. | 1 | 1 | | 2 |
| Итого часов | | 30 | 60 | | 75 |
| Подготовка к экзамену | | 60 час. | | | |
| Общая трудоёмкость | | 225 час., 5 зач.ед. | | | |

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

Семестр: 1 (Осенний)

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. Ионизационные, пропорциональные, дрейфовые, искровые камеры.

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

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

15. Полупроводниковые детекторы. Ядерные фотоэмульсии.

Полупроводниковые детекторы. Физические основы работы полупроводниковых детекторов. Поверхностно-барьерные, диффузионно-дрейфовые детекторы. Микростриповые детекторы. Ядерные фотоэмульсии. «Классические» детекторы прежних лет: камеры Вильсона, диффузионные камеры, пузырьковые камеры.

Семестр: 2 (Весенний)

16. Две концепции экспериментальных установок.

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

17. Структура установок на коллайдерах.

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

18. Измерение импульсов частиц в магнитном поле.

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

19. Вершинные детекторы.

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

20. Калориметры.

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

21. Энергетическое разрешение калориметров.

Энергетическое разрешение калориметров. Факторы, определяющие разрешение.

22. Мюонные детекторы.

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

23. 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.

24. Нейтринные детекторы.

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

25. Электроника в ядерно-физическом эксперименте.

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

26. Элементы триггерной электроники.

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

27. Случайные совпадения в двух или нескольких каналах.

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

28. Стандарты электроники.

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

29. Триггерные системы. Системы сбора данных (DAQ).

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

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

30. 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)

Учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Введение в физику высоких энергий [Текст] / Д. Перкинс ; пер. с англ. А. В. Беркова ; под ред. Б. А. Долгошеина - М.Энергоатомиздат,1991
2. К. Грουν, Детекторы элементарных частиц, Сибирский хронограф, 1999

Дополнительная литература

1. Р. Бок, Х. Грот, Д. Ноц, М. Реглер, Методы анализа данных в физическом эксперименте., М., Мир, 1993
2. Rossi, L., Fischer, P., Rohe, T., Wermes, N. _Pixel Detectors From Fundamentals to Applications, Springer, 2006

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

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.

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

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.

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

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

| | |
|---|---|
| по направлению: | Прикладные математика и физика |
| профиль подготовки: | Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра фундаментальных и прикладных проблем физики микромира |
| курс: | 1 |
| квалификация: | магистр |
| Семестры, формы промежуточной аттестации: | |
| 1 (осенний) - Экзамен | |
| 2 (весенний) - Экзамен | |
| Разработчик: | Д.В. Дедович |

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

| Код и наименование компетенции | Индикаторы достижения компетенции |
|---|---|
| УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий | УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними |
| | УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации |
| | УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности |
| УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки | УК-6.1 Умеет решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности |
| ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук | ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук |
| ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи | ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности |
| | ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость |
| ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения | ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения |
| | ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники) |
| ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий | ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов |
| ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты | ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности |
| ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию | ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива |
| ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области | ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ) |
| | ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ) |
| | ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов |

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения 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.

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

Не предусмотрено.

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

Перечень контрольных вопросов для сдачи экзамена в 9-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 10-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.

Примеры экзаменационных билетов

В 9 семестре:

Билет 1.

1. Физическая суть излучения Вавилова-Черенкова и его свойства.
2. Объяснить явление многократного рассеяния и как оно проявляется в эксперименте.

Билет 2.

1. Лавинное усиление и работа пропорционального счетчика.
2. Фотоумножители и их характеристики.

Билет 3.

1. Различные режимы работы газоразрядных детекторов.
2. Сравнить характеристики двух видов излучения: черенковского и тормозного.

Билет 4.

1. Описать основные виды взаимодействия фотонов с веществом.
2. Объяснить зависимость ионизационных потерь от импульса в формуле Бете-Блоха.

Билет 5.

1. Пороговые и дифференциальные черенковские счетчики.
2. Общая схема сцинтилляционного детектора.

В 10 семестре:

Билет 1.

1. Измерение импульсов частиц в магнитном поле. Типы магнитных систем.
2. Front-end и триггерная электроника. Стандарты электроники.

Билет 2.

1. Особенности нейтринных детекторов при изучении космических, реакторных и ускорительных нейтрино.
2. Факторы, определяющие разрешение калориметра.

Билет 3.

1. Мюонные детекторы на коллайдерах.
2. Случайные совпадения, просчеты. Мертвое время и его источники.

Билет 4.

1. Функции системы сбора данных и ее взаимодействие с триггерной системой.
2. Различные типы калориметров и их сравнение.

Билет 5.

1. Полупроводниковые и сцинтилляционные фиберные детекторы в качестве вершинных детекторов.
2. Особенности установок с фиксированной мишенью и установок на коллайдерах.

Критерии оценивания

Обучающемуся ставится оценка в соответствии с продемонстрированным уровнем подготовки; оценивание производится на усмотрения экзаменатора в соответствии с особенностями дисциплины и следующими критериями:

Оценка "отлично" (10 баллов) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка "отлично" (9 баллов) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка "отлично" (8 баллов) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочётами.

Оценка "хорошо" (7 баллов) выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка "хорошо" (6 баллов) выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка "хорошо" (5 баллов) выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка "удовлетворительно" (4 балла) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка "удовлетворительно" (3 балла) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка "неудовлетворительно" (2 балла) выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка "неудовлетворительно" (1 балл) выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

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

При проведении оценивания знаний обучающемуся предоставляется время на подготовку на усмотрение экзаменатора. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать одного астрономического часа. Оценивание знаний производится в соответствии с вышеуказанными критериями в соответствии с содержанием дисциплины.