

**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:	Эксперименты на больших коллайдерах
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:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 45 всего, в том числе:

лекции: 45 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: Д.В. Васильев, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры теоретической астрофизики и квантовой теории поля 21.02.2025

Аннотация

Курс «Эксперименты на больших коллайдерах» позволяет студенту приобрести знания, необходимые для научной работы в области экспериментальной физики высоких энергий. Эти знания будут также полезны студенту-теоретику. Полученные знания являются важными для исследовательской работы в практически любом научном направлении по физике частиц.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- дать представление о современных задачах, конструкции, особенностям работы современных детекторов на больших коллайдерах и актуальных проблемах физики частиц. Дать знания по экспериментальным и теоретическим вопросам физики частиц, стандартной модели и ее расширений. Курс построен так, чтобы создать надежный базис для самостоятельного углубленного изучения этих проблем.

Задачи дисциплины

- формирование знаний по постановке экспериментов на больших коллайдерах;
- формирование знаний по основным результатам в физике элементарных частиц полученным в экспериментах на коллайдерах.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
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-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
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-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
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-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- постановку экспериментов на основных больших коллайдерах и методику анализа данных в этих экспериментах;
- основные направления поиска новой физики.

уметь:

- оценивать, в том числе используя различные источники научного знания, сечения реакций стандартной модели и ее расширений и возможность их экспериментального обнаружения;
- интерпретировать экспериментальные результаты, получаемые на коллайдерах.

владеть:

- диаграммной техникой вычисления амплитуд реакций в рамках стандартной Модели и ее расширений;
- методами статистического анализа экспериментальных данных.

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	Экспериментальные установки на У-70, NICA, БАК.	9			9
2	Поиск и исследование свойств бозона Хиггса.	9			9
3	Поиск новых частиц и явлений на БАК, поиск суперсимметричных партнеров фундаментальных частиц.	9			9
4	Исследование процессов квантовой хромодинамики на БАК и NICA	9			9
5	Ускорительные эксперименты с нейтрино	9			9
Итого часов		45			45
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 2 (Весенний)

1. Экспериментальные установки на У-70, NICA, БАК.

Принцип работы и основные параметры БАК. Компоновка и основные подсистемы установок CMS и ATLAS. Магнитные поля, трековые системы, калориметры и мюонные детекторы. Триггер и системы сбора данных. Основные параметры установок CMS и ATLAS. Общие характеристики установок LHCb и ALICE. Ускоритель NICA, цели и задачи. Ускоритель У-70.

2. Поиск и исследование свойств бозона Хиггса.

Основные процессы образования бозона Хиггса и их сечения при энергиях Теватрона и БАК. Моды распада и их относительные вероятности в зависимости от массы бозона Хиггса. Основные фоновые процессы. Результаты поиска бозона Хиггса на Теватроне. Ожидаемая чувствительность к регистрации бозона хиггса на БАК для разных каналов распада в зависимости от его массы. Результаты поиска бозона Хиггса на БАК и их интерпретация.

3. Поиск новых частиц и явлений на БАК, поиск суперсимметричных партнеров фундаментальных частиц.

Ожидаемые сечения образования суперпартнеров в зависимости от массовых параметров SUSY. Кинематика распадов и основные сигнатуры процессов с образованием суперсимметричных партнеров. Поиск новых калибровочных бозонов и современные ограничения на их массы в разных моделях. Поиск кварков 4-го поколения. Поиск дополнительных пространственных размерностей и квантовых черных дыр.

4. Исследование процессов квантовой хромодинамики на БАК и NICA

Основные результаты исследования столкновений тяжелых ядер в экспериментах БАК. Образование струй с большими поперечными импульсами и тяжелых кваркониев. Поиск и исследование кварк-глюонной плазмы.

5. Ускорительные эксперименты с нейтрино

Эксперименты с ускорительными нейтрино: appearance и disappearance, их результаты, планы по изучению возможного CP-нарушения в нейтрино. Свидетельства в пользу осцилляций в веществе. Нерешенные проблемы в физике нейтрино

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. Лептоны и кварки [Текст]/Л. Б. Окунь, -М., ЛЕНАНД, 2015

Фонд литературы кафедры

3. 3. The Review of Particle Physics (2024) (S. Navas et al. (Particle Data Group), Phys. Rev. D 110, 030001 (2024))

Дополнительная литература

Фонд литературы кафедры

1. Evidence for the direct decay of the 125 GeV Higgs boson to fermions, Serguei Chatrchyan et al, Nature Phys. 10 (2014)
2. Measurement of the properties of a Higgs boson in the four-lepton final state, Serguei Chatrchyan et al., Phys.Rev. D89 (2014) 092007
3. Interpretation of Searches for Supersymmetry with simplified Models , Serguei Chatrchyan et al, Phys.Rev. D88 (2013) 5, 052017
4. CMS Technical Design Report, Volume II: Physics Performance, Albert De Roeck 2007 J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 34 E01
5. LHCb calorimeters: Technical Design Report, CERN, 2000
6. Progress of the NICA project, PoS(CPOD 2009)051

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

<http://pdg.lbl.gov> (база данных по физике частиц)

<http://arxiv.org>... (открытая база электронных препринтов по физике частиц с 1993 года)

<http://inspirehep.net> (поисковик статей по физике частиц)

<http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».

<http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук.

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

На занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций. В процессе самостоятельной работы обучающихся возможно использование таких программных средств, как Mathcad, Scilab и др.

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.

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>1</u>
квалификация:	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет	
Разработчик:	Д.В. Васильев, канд. физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
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-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
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-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
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-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Эксперименты на больших коллайдерах» обучающийся должен:

знать:

- постановку экспериментов на основных больших коллайдерах и методику анализа данных в этих экспериментах;
- основные направления поиска новой физики.

уметь:

- оценивать, в том числе используя различные источники научного знания, сечения реакций стандартной модели и ее расширений и возможность их экспериментального обнаружения;
- интерпретировать экспериментальные результаты, получаемые на коллайдерах.

владеть:

- диаграммной техникой вычисления амплитуд реакций в рамках стандартной Модели и ее расширений;
- методами статистического анализа экспериментальных данных.

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 или в конце занятия по пройденной теме.

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

Перечень контрольных вопросов:

1. Конструкция и принцип работы установок У-70
2. Трековая система установок CMS и ATLAS
3. Калориметрические системы установок CMS и ATLAS
4. Конструкция и принцип работы установок NICA
5. Основные особенности установок LHCb и ALICE
6. Зависимость сечения процессов образования бозона Хиггса в pp взаимодействиях от его массы
7. Вероятности распадов бозона Хиггса по различным каналам
8. Результаты поиска бозона Хиггса на БАК
9. Измерение массы и ширины бозона Хиггса
10. Измерение спина и четности бозона Хиггса
11. Исследование процессов с образованием W и Z бозонов на БАК
12. Кварк-глюонная плазма, фазовая диаграмма КХД
13. Измерение массы топ кварков
14. Процессы с образованием адронных струй с большими поперечными импульсами
15. Изучение поляризационных эффектов на ускорителе У-70
16. Сигнатуры образования суперсимметричных частиц
17. Ограничения на параметры суперсимметрии, поставленные в экспериментах БАК

Критерии оценивания

Оценку «отлично (10)» заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного программного материала, самостоятельно выполнивший все предусмотренные программой задания, глубоко усвоивший основную и дополнительную литературу, рекомендованную программой, активно работавший на практических, семинарских, лабораторных занятиях, разбирающийся в основных научных концепциях по изучаемой дисциплине, проявивший творческие способности и научный подход в понимании и изложении учебного программного материала, ответ отличается богатством и точностью использованных терминов, материал излагается последовательно и логично.

Оценка «отлично (9)» заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое знание учебного программного материала, самостоятельно выполнивший все предусмотренные программой задания, глубоко усвоивший основную литературу и знаком с дополнительной литературой, рекомендованной программой, активно работавший на практических, семинарских, лабораторных занятиях, показавший систематический характер знаний по дисциплине, достаточный для дальнейшей учебы, а также способность к их самостоятельному пополнению, ответ отличается точностью использованных терминов, материал излагается последовательно и логично.

Оценку «отлично (8)» заслуживает студент, обнаруживший полное знание учебно-программного материала, не допускающий в ответе существенных неточностей, самостоятельно выполнивший все предусмотренные программой задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную программой, активно работавший на практических, семинарских, лабораторных занятиях, показавший систематический характер знаний по дисциплине, достаточный для дальнейшей учебы, а также способность к их самостоятельному пополнению.

Оценку «хорошо (7)» заслуживает студент, обнаруживший достаточно полное знание учебно-программного материала, не допускающий в ответе существенных неточностей, самостоятельно выполнивший все предусмотренные программой задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную программой, активно работавший на практических, семинарских, лабораторных занятиях, показавший систематический характер знаний по дисциплине, достаточный для дальнейшей учебы, а также способность к их самостоятельному пополнению.

Оценку «хорошо (6)» заслуживает студент, обнаруживший достаточно полное знание учебно-программного материала, не допускающий в ответе существенных неточностей, самостоятельно выполнивший основные предусмотренные программой задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную программой, отличавшийся достаточной активностью на практических (семинарских) и лабораторных занятиях, показавший систематический характер знаний по дисциплине, достаточный для дальнейшей учебы.

Оценку «хорошо (5)» заслуживает студент, обнаруживший знание основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, не отличавшийся активностью на практических (семинарских) и лабораторных занятиях, самостоятельно выполнивший основные предусмотренные программой задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную программой, однако допустивший некоторые погрешности при их выполнении и в ответе на экзамене, но обладающий необходимыми знаниями для их самостоятельного устранения.

Оценку «удовлетворительно (4)» заслуживает студент, обнаруживший знание основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, не отличавшийся активностью на практических (семинарских) и лабораторных занятиях, самостоятельно выполнивший основные предусмотренные программой задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную программой, однако допустивший некоторые погрешности при их выполнении и в ответе на экзамене, но обладающий необходимыми знаниями для устранения под руководством преподавателя допущенных погрешностей.

Оценку «удовлетворительно (3)» заслуживает студент, обнаруживший знание основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, не отличавшийся активностью на практических (семинарских) и лабораторных занятиях, самостоятельно выполнивший основные предусмотренные программой задания, однако допустивший погрешности при их выполнении и в ответе на экзамене, но обладающий необходимыми знаниями для устранения под руководством преподавателя наиболее существенных погрешностей.

Оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях или отсутствие знаний по значительной части основного учебно-программного материала, не выполнившему самостоятельно предусмотренные программой основные задания, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий, не отработавшему основные практические, семинарские, лабораторные занятия, допускающему существенные ошибки при ответе, и который не может продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

Оценка «неудовлетворительно (1)» выставляется студенту, не ответившему на заданные (отказ от ответа, представленный ответ полностью не по существу содержащихся в экзаменационном задании вопросов).

Оценка «зачтено» выставляется студенту, если по десятибалльной шкале его знания оцениваются не ниже «удовлетворительно»; оценка «не зачтено» выставляется обучающемуся в противном случае.

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

При проведении дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется не менее 45 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на дифференцированном зачете не должен превышать двух астрономических часов.

Во время проведения дифференцированного зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также всей необходимой литературой для решения задачи; при ответах на устные вопросы пользоваться литературой запрещено.