

**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:	Эксперименты на коллайдерах
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау Физтех-кластер академической и научной карьеры
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: Р.Н. Чистов, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании Физтех-кластера академической и научной карьеры 04.06.2020

Аннотация

В курсе рассматриваются конструкция и принцип работы экспериментов CMS, ATLAS, LHCb, ALICE на Большом Адронном Коллайдере (БАК), их особенности в свете заявленных физических целей. Далее, основное внимание уделяется обсуждению полученных результатов на БАК: открытие бозона Хиггса и измерению его параметров, измерение характеристик процессов рождения бозона Хиггса, измерение характеристик процессов с участием W^{+-} и Z бозонов, поиск частиц и процессов вне рамок Стандартной Модели (суперсимметрия и темная материя), физика тяжелых кварков, физика в ион-ионных и ион-протонных взаимодействиях. На примерах этих результатов показывается логика и методы анализа данных в экспериментах на БАК.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Данный курс знакомит студента с основными результатами экспериментов на Большом Адронном Коллайдере (БАК) CMS, ATLAS, LHCb и ALICE. Также, курс позволяет студенту понять современные экспериментальные методы, лежащие в основе получения этих результатов. Курс создает базу для изучения и анализа последующих результатов на БАК.

Задачи дисциплины

- формирование знаний по постановке экспериментов на Большом адронном коллайдере (БАК);
- формирование знаний по основным результатам, полученным в экспериментах на БАК.

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-1.3 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-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
	УК-2.2 Способен прогнозировать результат деятельности и планировать последовательность шагов для достижения данного результата. Формирует план-график реализации проекта в целом и план контроля его выполнения
УК-3 Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной задачи	УК-3.3 Способен предвидеть результаты (последствия) как личных, так и коллективных действий
	УК-3.4 Способен планировать командную работу, распределять поручения членам команды, организовать обсуждение разных идей и мнений
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-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач 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-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
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
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.2 Владеет навыком руководства малым коллективом в сфере своей профессиональной деятельности
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-1.3 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:

Содержание предмета курса «Эксперименты на коллайдерах», соответствующую терминологию и понятийный аппарат. Знать логику и методы получения основных результатов на БАК.

уметь:

интерпретировать экспериментальные результаты, получаемый на БАК.

владеть:

основными методами измерения характеристик бозонов Хиггса, W^{+-} , Z , поиска частиц темной материи и суперсимметричных частиц, а также восстановления очарованных и прелестных адронов на БАК.

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 БАК	4	4		6
2	Поиск и исследование свойств бозона Хиггса	6	6		9

3	Исследование процессов с образованием W и Z бозонов на БАК	4	4		6
4	Исследование процессов с образованием топ-кварков	6	6		9
5	Исследование КХД процессов в pp взаимодействиях	2	2		3
6	Поиск темной материи, суперсимметрии	4	4		6
7	Исследование Pb-Pb и Pb-p взаимодействий	2	2		3
8	Исследования по физике тяжелых кварков	2	2		3
Итого часов		30	30		45
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

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

Семестр: 2 (Весенний)

1. Экспериментальные установки на БАК

Неделя 1. Конструкция и принцип работы установок CMS и ATLAS. Трековая система установок CMS и ATLAS. Калориметрические системы установок CMS и ATLAS.

Неделя 2. Триггер и система сбора данных CMS. Основные особенности установок LHCb и ALICE.

2. Поиск и исследование свойств бозона Хиггса

Неделя 3. Открытие бозона Хиггса. Зависимость сечения процессов образования бозона Хиггса в pp взаимодействиях от его массы.

Неделя 4. Вероятности распадов бозона Хиггса по различным каналам. Измерение массы и ширины бозона Хиггса.

Неделя 5. Измерение спина и четности бозона Хиггса

3. Исследование процессов с образованием W и Z бозонов на БАК

Неделя 6. Одинокое рождение векторных бозонов.

Неделя 7. Двойное и тройное рождение векторных бозонов.

4. Исследование процессов с образованием топ-кварков

Неделя 8. Процессы с образованием пар топ-кварков.

Неделя 9. Процессы с образованием одинокоего топ-кварка.

Неделя 10. Измерение массы топ-кварка.

5. Исследование КХД процессов в pp взаимодействиях

Неделя 11. Процессы с образованием адронных струй с большими поперечными импульсами.

6. Поиск темной материи, суперсимметрии

Неделя 12. Сигнатуры образования суперсимметричных частиц. Ограничения на параметры суперсимметрии, поставленные в экспериментах БАК.

Неделя 13. Сигнатуры образования частиц темной материи. Ограничения на параметры частиц темной материи, поставленные в экспериментах БАК.

7. Исследование Pb-Pb и Pb-p взаимодействий

Неделя 14. Общие характеристики процессов PbPb столкновений на БАК. Измерение прицельного параметра для PbPb столкновений на БАК. Измерение коллективных параметров для PbPb столкновений на БАК. Образование адронных струй в PbPb столкновениях на БАК. Образование тяжелых кваркониев в PbPb столкновениях на БАК.

8. Исследования по физике тяжелых кварков

Неделя 15. Обзор результатов экспериментов на БАК по изучению очарованных и прелестных адронов. Поиск Новой Физики в распадах тяжелых адронов. Спектроскопия тяжелых адронов: классическая и многокварковая.

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

Для занятий требуется аудитория, оснащенная проектором для показа слайдов с компьютера и экраном.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Статьи с ресурса <http://cms-results.web.cern.ch/cms-results/public-results/publications/>
2. Статьи с ресурса <https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/AtlasPublic/WebHome#PhysicsGroups>
3. Статьи с ресурса http://lhcbproject.web.cern.ch/lhcbproject/Publications/LHCbProjectPublic/Summary_all.html
4. Статьи с ресурса <https://alice-publications.web.cern.ch/submitted>

Дополнительная литература

1. Broken Symmetries and the Masses of Gauge Bosons, Peter W. Higgs; Phys. Rev. Lett. 13, 508;
2. Broken Symmetry and the Mass of Gauge Vector Mesons, F. Englert and R. Brout; Phys. Rev. Lett. 13, 321

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

<http://cms-results.web.cern.ch/cms-results/public-results/publications/>
<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/AtlasPublic/WebHome#PhysicsGroups>
http://lhcbproject.web.cern.ch/lhcbproject/Publications/LHCbProjectPublic/Summary_all.html
<https://alice-publications.web.cern.ch/submitted>
<http://pdg.lbl.gov/> The Review of Particle Physics

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

На лекционных и семинарских занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

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 напряжённой самостоятельной работы студента в соответствии с данными в рабочей программе. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на лекциях и практических занятиях;
- при необходимости подготовку к практическим занятиям, экзамену.

Показателем владения материалом служит умение решать задачи. Для формирования умения применять знания на практике студенту необходимо решать как можно больше задач.

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

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 Физтех-кластер академической и научной карьеры (Фундаментальные взаимодействия и физика элементарных частиц)
курс:	1
квалификация:	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен	
Разработчик:	Р.Н. Чистов, канд. физ.-мат. наук

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-1.3 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-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
	УК-2.2 Способен прогнозировать результат деятельности и планировать последовательность шагов для достижения данного результата. Формирует план-график реализации проекта в целом и план контроля его выполнения
УК-3 Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной задачи	УК-3.3 Способен предвидеть результаты (последствия) как личных, так и коллективных действий
	УК-3.4 Способен планировать командную работу, распределять поручения членам команды, организовать обсуждение разных идей и мнений
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-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач 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-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
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
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.2 Владеет навыком руководства малым коллективом в сфере своей профессиональной деятельности
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности

изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты

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 коллайдерах» обучающийся должен:

знать:

Содержание предмета курса «Эксперименты на коллайдерах», соответствующую терминологию и понятийный аппарат. Знать логику и методы получения основных результатов на БАК.

уметь:

интерпретировать экспериментальные результаты, получаемый на БАК.

владеть:

основными методами измерения характеристик бозонов Хиггса, W^{+-} , Z , поиска частиц темной материи и суперсимметричных частиц, а также восстановления очарованных и прелестных адронов на БАК.

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

Примеры заданий контрольной работы:

1. Объясните термин центральность столкновения в ион-ионных столкновениях.
2. Объясните причину подавления выхода $Y(2, 3S)$ по сравнению с выходом $Y(1S)$ в Pb-Pb столкновениях на БАК.
3. Объясните термин pile-up.

Примеры задач из домашнего задания:

1. Объясните причину создания триггеров первого и высшего уровня в эксперименте CMS. Проиллюстрируйте примерами.
2. Какие свойства прелестных адронов используются для подавления фона при их восстановлении.
3. В столкновениях каких партонов рождается пара топ-кварков на БАК и Tevatron.

Темы докладов на семинарах:

1. Открытие бозона Хиггса.
2. Измерение массы топ-кварка.
3. Квенчинг струй в Pb-Pb столкновениях.
4. Поиск Новой Физики в распадах прелестных адронов.
5. Открытие пентакварков в LHCb.

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

Перечень контрольных вопросов

1. Перечислите известные моды распадов бозона Хиггса. Как они ранжируются по вероятности.
2. Перечислите основные процессы рождения бозона Хиггса, нарисуйте диаграммы. Как эти процессы ранжируются по вероятности.
3. Почему при энергии в с.ц.м. примерно 2 ТэВ сечение рождения пар топ-кварков больше в протон-антипротонных взаимодействиях чем в pp ?
4. Нарисуйте диаграммы рождения одиночного топ-кварка на БАК.
5. Какая основная сигнатура рождения частиц темной материи на БАК.

Примеры контрольных заданий

1. Нарисуйте как может выглядеть event display события с рождением бозона Хиггса по каналу WW -fusion с последующим распадом бозона Хиггса на два фотона (на БАК). Нарисуйте диаграмму распада бозона Хиггса на два фотона.
2. Опишите на качественном уровне критерии отбора событий рождения пары топ кварков с последующим их распадом по лептонному каналу (на БАК).
3. Оцените минимальную энергию сталкивающихся протонов, необходимую для рождения пары топ-кварков на БАК.
4. Опишите качественно основные критерии отбора событий с рождением прелестных адронов на БАК.
5. Опишите метод измерения массы топ-кварка на БАК.

Примеры экзаменационных билетов

Билет 1.

1. Конструкция и принцип работы установок CMS и ATLAS. Трековая система установок CMS и ATLAS.
2. Исследование КХД процессов в pp взаимодействиях. Процессы с образованием адронных струй с большими поперечными импульсами.

Билет 2.

1. Калориметрические системы установок CMS и ATLAS. Триггер и система сбора данных CMS.
2. Поиск темной материи, суперсимметрии и других явлений вне СМ. Сигнатуры образования суперсимметричных частиц. Ограничения на параметры суперсимметрии, поставленные в экспериментах БАК.

Билет 3.

1. Открытие бозона Хиггса. Зависимость сечения процессов образования бозона Хиггса в pp взаимодействиях от его массы.
2. Сигнатуры образования частиц темной материи. Ограничения на параметры частиц темной материи, поставленные в экспериментах БАК.

Билет 4.

1. Общие характеристики процессов $PbPb$ столкновений на БАК. Измерение прицельного параметра для $PbPb$ столкновений на БАК. Измерение коллективных параметров для $PbPb$ столкновений на БАК.
2. Поиск Новой Физики в распадах тяжелых адронов.

Билет 5.

1. Спектроскопия тяжелых адронов: классическая и многокварковая.
2. Процессы с образованием одиночного топ-кварка.

Критерии оценивания

- 10 полный ответ на экзаменационный билет и дополнительные вопросы
- 9 полный ответ на экзаменационный билет и дополнительные вопросы, возможны затруднения в ответе на дополнительные вопросы, самостоятельно устраняемые студентом
- 8 полный ответ на экзаменационный билет и дополнительные вопросы, возможны затруднения в ответе на дополнительные вопросы
- 7 возможны затруднения в ответе на вопросы экзаменационного билета, устраняемые после подсказки преподавателя
- 6 возможны затруднения в ответе на вопросы экзаменационного билета, устраняемые после нескольких подсказок преподавателя
- 5 затруднения в ответе на вопросы экзаменационного билета, устраняемые только с серьезной помощью преподавателя
- 4 затруднения в ответе на вопросы экзаменационного билета, устраняемые только с серьезной помощью преподавателя; неспособность ответить на дополнительный вопрос по другой теме

- 3 неспособность ответить на вопросы билета, однако ответ на дополнительные вопросы из списка экзаменационных
- 2 неспособность ответить на вопросы билета и на дополнительные вопросы из списка экзаменационных
- 1 неспособность ответить на вопросы билета и на любой дополнительный вопросы из списка экзаменационных

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

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 1 час времени на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов.

Во время проведения экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также любой литературой и вычислительной техникой.