



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФГБОУ ВО «ИГУ»
Кафедра теоретической физики

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета
/Буднев Н.М.
«29» 03 2018

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Код дисциплины Б1.В.ДВ.2.2

Наименование дисциплины (модуля) Неускорительный эксперимент в физике высоких энергий

Направление подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

03.06.01 – Физика и астрономия

Направленность (научная специальность) Физика высоких энергий

Форма обучения очная

Согласовано с УМК физического факультета

Протокол № 12 от «29» 03 2018 г.

Председатель УМК [Signature] /Буднев Н.М./

Программа рассмотрена на заседании кафедры теоретической физики

«29» 03 2018 г. Протокол № 4

И.о. зав. кафедрой [Signature] /Дювцов С.В./

Иркутск 2018 г.

Содержание

1. Цели и задачи дисциплины.....	3
3. Требования к результатам освоения дисциплины.....	3
4. Объем дисциплины и виды учебной работы.....	4
5. Содержание дисциплины.....	5
6. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ.....	6
7. Примерная тематика курсовых работ (при наличии).....	7
8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.....	7
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины.....	7
10. Образовательные технологии.....	7
11. Оценочные средства (ОС).....	7

1. Цели и задачи дисциплины

Цель программы - подготовка специалистов в области физики высоких энергий, астрофизики элементарных частиц, физики космических лучей и гамма-астрономии, многокомпонентных методов исследований Вселенной, методов регистрации и исследования потоков космических лучей, нейтрино и гамма-квантов высоких энергий.

Задачи курса – формирование представлений о принципах организации крупномасштабных инфраструктур для исследований в области ускорительной и неускорительной физики высоких энергий в рамках международных коллабораций, изучение принципов работы крупномасштабных установок для регистрации частиц высоких энергий с помощью детекторов разного типа, ввести аспирантов в круг проблем современной физики высоких энергий, астрофизики элементарных частиц и физики за пределами стандартной модели.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Неускорительный эксперимент в физике высоких энергий» относится к вариативной части математического и естественнонаучного цикла дисциплин, и предназначена для подготовки специалистов в области физики высоких энергий, способных работать в составе коллектива исследователей, проводящих эксперименты на больших детекторах и установках, регистрирующих частиц и ядра высоких энергий. В рамках этого курса аспиранты изучают основы детектирования частиц различного типа с помощью черенковских и сцинтилляционных детекторов, дрейфовых камер, пропорциональных счетчиков и т.д., построение на их базе больших детекторов и установок для ускорительной и неускорительной физики высоких энергий, организацию систем сбора данных и калибровок сложных распределенных многопроцессорных систем, методов калибровок и синхронизации сложных измерительных систем, в том числе на примере крупнейших детекторов и установок, таких как: MAGIC, IceCube, Ligo, Baikal-GVD, TAIGA и других. В результате изучения курса аспиранты приобретают фундаментальные знания о процессах, сопровождающих прохождения частиц в различных средах, знакомятся с методами регистрации заряженных частиц, гамма-квантов, нейтрино, нейтронов и ядер, получают представление о современном состоянии исследований в области физики высоких энергий, физики космических лучей, гамма-астрономии, нейтринной астрофизики, получают навыки планирования и организации крупномасштабных экспериментов.

Изучение курса предполагает наличие полученных на предыдущих уровнях образования знаний, умений и компетенций по дисциплинам «Математический анализ», «Дифференциальные уравнения», «Интегральные уравнения», «Методы математической физики», «Квантовая теория», «Электродинамика», «Термодинамика и статистическая физика», «Астрофизика и космология», «Информационно-измерительные системы».

Программа курса ориентирована на тематику научных исследований базового института кафедры – Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ, Дубна), тематику ИЯИ РАН и НИИПФ ИГУ.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование профессиональных компетенций:

- способностью самостоятельно ставить задачи научных исследований в области физики высоких энергий, решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта (ПК-1);

- владеть разделами физики, необходимыми для решения научных задач в области физики высоких энергий (ПК-2);

- владение новыми методами и методологическими подходами необходимыми для участия в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности (ПК-3)

- способностью планировать и организовать физические исследования, научные семинары и конференции (ПК-4).

В результате изучения курса «Неускорительный эксперимент в физике высоких энергий» аспирант должен

знать:

- Особенности космических лучей, гамма-квантов и нейтрино как носителей информации о Вселенной;
- Особенности регистрации различных типов заряженных частиц гамма-квантов, нейтрино, нейтронов и ядер в ускорительных и неускорительных экспериментах;
- Процессы, сопровождающие прохождения элементарных частиц и ядер в различных средах:
 - Основные принципы регистрации электромагнитного излучения в оптическом диапазоне и ближнем ультрафиолете с помощью электровакуумных и полупроводниковых приборов;
 - Основные принципы работы черенковских, сцинтилляционных, пропорциональных, газоразрядных и других типов счетчиков;
 - Основные принципы калибровки и синхронизации больших детекторов и установок;
 - Основные принципы организации систем сбора данных и управления распределенными информационно-измерительными системами;
 - Принципы организация и управления крупномасштабными экспериментами.

уметь:

- Разрабатывать детекторы элементарных частиц на базе черенковских и сцинтилляционных счетчиков;
- Оценивать эффективную площадь или объем и чувствительность детекторов и наземных установок для исследования потоков частиц высоких энергий;
- Принципы подавления фона в детекторах и установках для исследований в области астрофизики элементарных частиц
- Объяснить генерацию нейтринных всплесков при коллапсе звезды;

иметь представление:

- о механизмах ускорения частиц в астрофизических источниках и законах их распространения в космическом пространстве;
- об основных процессах, развивающихся в атмосфере, твердых и жидких средах при взаимодействии заряженных частиц, гамма-квантов и ядер.
- о возможных типах астрофизических источников с гигантским выделением энергии.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц	Курсы			
		1	2	3	4
Аудиторные занятия (всего)	48/1,4		48		
В том числе:					
Лекции	24/0,7		24		
Практические занятия (ПЗ)	24/0,7		24		
Самостоятельная работа (всего)	60/1,6		60		
Вид промежуточной аттестации (зачет с оценкой)					
Общая трудоемкость	часы		108		
	зачетные единицы	3	3		

5. Содержание дисциплины

5.1. Содержание разделов и тем дисциплины

Тема 1. Широкие атмосферные ливни. Взаимодействия ядер и гамма-квантов с атмосферой. Особенности развития адронных и электромагнитных каскадов в атмосфере. Функции пространственного распределения заряженных частиц и нейтронов на разных высотах. Глубина максимума ШАЛ.

Тема 2. Черенковское излучение ШАЛ. Связь пространственно – временных параметров черенковского импульса ШАЛ (функции пространственного распределения, функции амплитуда – длительность, формы импульса и т.д.) с энергией и массой ядра, породившим ШАЛ.

Тема 3. Радио излучение ШАЛ и механизмы его генерации. Методы выделения радио сигналов от ШАЛ из фона. Восстановление параметров первичных заряженных частиц, по характеристикам радио излучения ШАЛ на примере установки Tunka-Rex.

Тема 4. Методы регистрации заряженной компоненты и нейтронов ШАЛ. Виды и типы сцинтилляционных и черенковских детекторов заряженной компоненты ШАЛ. Детекторы нейтронов.

Тема 5. Методы регистрации нейтрино различных энергий. Детекторы для регистрации Солнечных нейтрино, детекторы для регистрации нейтрино высоких энергий в природных средах.

Тема 6. История развития наземных исследований космических лучей с помощью установок ШАЛ. Открытие «колена» в энергетическом спектре космических лучей. Установки ШАЛ-МГУ, Якутск, Akeno/AGASA, HaverahPk, Stereo FlysEye, Hires и др.

Тема 7. Современные «плотные» наземные установки для исследования космических лучей KASCADE-Grande, IceTop, Tunka-133, Tibet. Исследования колена и области перехода от галактических к внегалактическим источникам космических лучей

Тема 8. Гигантские наземные установки для исследования космических лучей Auger, TA. Исследование космических лучей предельных энергий, поиск GZK обрезания.

Тема 9. История развития наземной гамма-астрономии высоких энергий. Атмосферные черенковские телескопы, регистрирующие изображение ШАЛ в черенковском свете (Imaging Atmospheric Cherenkov Telescope, IACT). Методы выделения порожденных гамма-квантами ШАЛ из фона ШАЛ, создаваемого космическими лучами. Параметры Хилласа.

Тема 10. Современные наземные установки для регистрации гамма – квантов высоких энергий: HESS, VERITAS, MAGIC. Основные результаты исследований Галактических и внегалактических источников гамма-квантов высоких энергий. Поиск космических ПэВатронов. Прохождение гамма-квантов сверхвысоких энергий в космическом пространстве. Поиск переходов гамма-квантов в аксионы и обратно.

Тема 11. Гибридный подход для исследования потоков гамма-квантов сверхвысоких энергий. Гамма-обсерватория TAIGA – как уникальный комплекс установок, регистрирующих все компоненты ШАЛ. Установки TAIGA-HISCORE, TAIGA-IACT, TAIGA-Muon.

Тема 12. Основные результаты и перспективы многокомпонентных исследований Вселенной. Достоинства и недостатки заряженных космических лучей, гамма-квантов и нейтрино как носителей информации о высокоэнергетической Вселенной. Уникальность комплекса крупномасштабных установок в озере Байкал и Тункинской долине.

5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми дисциплинами

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин	№ разделов и тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин)
1	Физика высоких энергий	Темы 1, 2, 5, 10, 12

5.3. Разделы и темы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование темы	Виды занятий в часах		
		Лекции	Практ. зан.	СРС
1	Широкие атмосферные ливни.	2	-	
2	Черенковское излучение ШАЛ.	2	2	6
3	Радио излучение ШАЛ и механизмы его генерации.	2	2	2
4	Методы регистрации заряженной компоненты и нейтронов ШАЛ.	2	-	6
5	Методы регистрации нейтрино различных энергий	2	2	4
6	История развития наземных исследований космических лучей с помощью установок ШАЛ	2	2	4

7	Современные «плотные» наземные установки для исследования космических лучей	2	2	4
8	Гигантские наземные установки для исследования космических лучей	2	4	6
9	История развития наземной гамма-астрономии высоких энергий	2	4	4
10	Современные наземные установки для регистрации гамма – квантов высоких энергий:	2	2	8
11	Гибридный подход для исследования потоков гамма-квантов сверхвысоких энергий.	2	4	8
12	Основные результаты и перспективы многокомпонентных исследований Вселенной.	2	-	8

6. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1.	Тема 2	Энергетический порог черенковских детекторов ШАЛ	2	Задание на семинаре	ПК-1,2,3, 4
2.	Тема 3	Восстановление параметров ШАЛ по данным о пространственно – временных параметрах черенковского импульса ШАЛ	2	Задание на семинаре	
3.	Тема 5	Методы калибровки широкоугольных черенковских детекторов ШАЛ.	2	Задание на семинаре	
4.	Тема 6	Восстановление параметров ШАЛ по данным о пространственно – временных параметрах радио импульса ШАЛ	2	Задание на семинаре	
5.	Тема 7	Методы калибровки радио детекторов ШАЛ.	2	Контрольная работа	
6	Тема 8	Восстановление параметров ШАЛ по данным о пространственно – временных параметрах радио импульса ШАЛ	4	Задание на семинаре	
7	Тема 9	Методы калибровки радио детекторов ШАЛ.	4	Задание на семинаре	
8.	Тема 10	Расчет параметров Хилласа для изображений в камерах АЧТ.	4	Контрольная работа	
9.	Тема 11	Совместный анализ данных imaging и pоimaging черенковских установок.	2	Задание на семинаре	

7. Примерная тематика курсовых работ (при наличии)

Курсовые работы не планируются.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература

1. **Мурзин, Владимир Сергеевич.** *Астрофизика космических лучей* : Учеб. пособие / В. С. Мурзин ; Московский гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. - М. : Логос : Университет. кн., 2007. - 487 с.

2. **Мурзин, В. С.** *Астрофизика космических лучей* [Текст : Электронный ресурс] : учеб. пособие для вузов / В. С. Мурзин. - Москва : Логос, 2007. - 487 с. ; нет. - (Классический университетский учебник). - Режим доступа: ЭБС "Руконт". - Неогранич. доступ.

б) дополнительная литература.

1. Клапдор-Клайнротхаус, Г. В. Астрофизика элементарных частиц / Г.В. Клапдор-Клайнротхаус, Кау Цюбер; Пер.с нем., Под ред. В.А.Беднякова. - М.: Ред. журн."Успехи физич.наук", 2000. - 496 с. - ISBN 5855040127 (1)

3. Ядерная астрофизика. Под ред. Ч. Барнса, Д. Клейтона, Д. Шрамма. М.: Мир , 1986. 519 с.

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

При чтении курса используются компьютерные технологии, лекции в специализированных аудиториях. Внедрение глобальной компьютерной сети в образовательный процесс позволяет обеспечить доступность Интернет-ресурсов.

Материалы: научные статьи и монографии из рецензируемых журналов, рассматривающие современные подходы и исследования в физике высоких энергий.

10. Образовательные технологии

Задачи изложения и изучения дисциплины реализуются в следующих формах деятельности:

- **лекции**, нацеленные на получение необходимой информации, и ее использование при решении практических задач;
- **практические занятия**, направленные на активизацию познавательной деятельности студентов и приобретения ими навыков решения практических и проблемных задач;
- **консультации** – еженедельно для всех желающих студентов;
- **самостоятельная внеаудиторная работа** направлена на приобретение навыков самостоятельного решения задач по дисциплине;

11. Оценочные средства (ОС)

11.1. Оценочные средства для входного контроля

(Входной контроль умений и знаний не проводится)

11.2. Оценочные средства текущего контроля: *(текущий контроль не планируется)*

11.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация направлена на проверку сформированности компетенций ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4 и проводится в форме устного зачета по билетам. Билеты включают теоретический вопрос и задачу (упражнение). Зачет проводится перед экзаменационной сессией в соответствии с расписанием.

Зачет считается сданным, если студент дает правильный ответ на теоретический вопрос и успешно справляется с решением задачи (упражнения).

Примерный перечень вопросов к зачету

1. Широкие атмосферные ливни. Взаимодействия ядер и гамма-квантов с атмосферой.
2. Особенности развития адронных и электромагнитных каскадов в атмосфере.
3. Функции пространственного распределения заряженных частиц и нейтронов на разных высотах. Глубина максимума ШАЛ.
4. Черенковское излучение ШАЛ. Связь пространственно – временных параметров черенковского импульса ШАЛ (функции пространственного распределения, функции амплитуда – длительность, формы импульса и т.д.) с энергией и массой ядра, породившим ШАЛ.
5. Радио излучение ШАЛ и механизмы его генерации. Методы выделения радио сигналов от ШАЛ из фона.
6. Восстановление параметров первичных заряженных частиц, по характеристикам радио излучения ШАЛ на примере установки Tunka-Rex.
7. Методы регистрации заряженной компоненты и нейтронов ШАЛ. Виды и типы сцинтилляционных и черенковских детекторов заряженной компоненты ШАЛ.
8. Детекторы нейтронов.
9. Методы регистрации нейтрино различных энергий.
10. Детекторы для регистрации Солнечных нейтрино
11. Детекторы для регистрации нейтрино высоких энергий в природных средах.

12. Классическое «колена» в энергетическом спектре космических лучей.
13. Установки ШАЛ-МГУ, Якутск, Akeno/AGASA, HaverahPk, Stereo FlysEye, Hires.
14. Современные «плотные» наземные установки для исследования космических лучей KASCADE-Grande, IceTop, Tunka-133, Tibet.
15. Исследования колена и области перехода от галактических к внегалактическим источникам космических лучей
16. Гигантские наземные установки для исследования космических лучей Auger, TA.
17. Исследование космических лучей предельных энергий, поиск GZK обрезания.
18. Атмосферные черенковские телескопы, регистрирующие изображение ШАЛ в черенковском свете (Imaging Atmospheric Cherenkov Telescope, IACT).
19. Методы выделения порожденных гамма-квантами ШАЛ из фона ШАЛ, создаваемого космическими лучами. Параметры Хилласа.
20. Современные наземные установки для регистрации гамма – квантов высоких энергий: HESS, VERITAS, MAGIC, HAWC.
21. Основные результаты исследований Галактических и внегалактических источников гамма-квантов высоких энергий. Поиск космических ПэВатронов.
22. Прохождение гамма-квантов сверхвысоких энергий в космическом пространстве.
23. Гибридный подход для исследования потоков гамма-квантов сверхвысоких энергий. Гамма-обсерватория TAIGA – как уникальный комплекс установок, регистрирующих все компоненты ШАЛ.
24. Установки TAIGA-HISCORE, TAIGA-IACT, TAIGA-Muon.
25. Основные результаты и перспективы многокомпонентных исследований Вселенной. Достоинства и недостатки заряженных космических лучей, гамма-квантов и нейтрино как носителей информации о высокоэнергетической Вселенной.
26. Уникальность комплекса крупномасштабных установок в озере Байкал и Тункинской долине.

Примеры задач и упражнений:

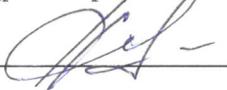
1. Оцените среднюю высоту начала развития ШАЛ в результате взаимодействия с протоном и гамма-квантом.
2. Оцените энергетический порог регистрации широкоугольной черенковской установки TAIGA-HiSCORE.
3. Определите энергию GZK обрезания на реликтовом излучении.
4. Оцените зависимость длины пробега фотонов сверхвысоких энергий в зависимости от энергии.
5. Оцените достоверность выделения порожденных гамма-квантами ШАЛ из фона ШАЛ, создаваемого космическими лучами. Параметры Хилласа

Разработчик:



декан, д.ф.-м.н. Н.М.Буднев

Программа рассмотрена на заседании кафедры теоретической физики «29» 03, 2018 г.

Протокол № 7 И.о. зав. кафедрой  С.В. Ловцов