



**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Иркутский государственный университет»**

УТВЕРЖДАЮ
Декаан факультета
/Буднев Н.М.
"25" 03 2019 г.

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Код дисциплины ФТД.1

Наименование дисциплины (модуля) Многоканальная астрономия

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 №20 от «17» апреля 2019 г.
Председатель УМК _____ /Буднев Н.М./

Программа рассмотрена на заседании
кафедры теоретической физики
«20» марта 2019 г. Протокол № 8
И.о. зав. кафедрой _____ /С.В. Ловцов/

Иркутск 2019 г.

Содержание

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

1. Цели и задачи дисциплины

Цель программы - подготовка специалистов в области физики высоких энергий, многоканальной астрономии и астрофизики.

Задачи курса – формирование представлений о современном состоянии исследований процессов формирования и эволюции Вселенной, астрофизических источников высоких энергий, механизмов ускорения частиц до сверхвысоких энергий в источниках различного типа, поиска темной материи, нарушений Лоренц-инвариантности и других проявлений Новой Физики.

Познакомить аспирантов с историей развития и современным состоянием многоканальной астрофизики, способами и методами регистрации отдельных компонент космического излучения: электромагнитного от радио волн до гамма-квантов, заряженных частиц, нейтрино и гравитационных волн, как с помощью установок так и наземных. Дать представления о действующих детекторах заряженных частиц и гамма-квантов космического базирования и наземных крупномасштабных установках. Познакомить с методами регистрации частиц: электронов, мюонов, ядер и нейтронов в различных диапазонах энергий с помощью детекторов различного типа; нейтрино от энергий порядка мегаэлектронвольта, до сверхвысоких энергий; радио излучения ШАЛ; оптического излучения, в том числе с помощью робот телескопов системы MASTER, черенковского излучения с помощью широкоугольных (timing) установок и атмосферных черенковских телескопов (Imaging Atmospheric Cherenkov Telescope, IACT), подземных детекторов нейтрино и нейтринных телескопов в природных средах.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Многоканальная астрономия» относится к вариативной части математического и естественнонаучного цикла дисциплин и предназначена для подготовки специалиста-физика, способного работать в составе коллектива исследователей, проводящих эксперименты на гигантских установках по регистрации космического излучения и выполняющих обработку результатов измерений. В рамках этого курса аспиранты изучают основы детектирования космического излучения различной природы, принципы организации и архитектуру крупномасштабных астрофизических установок для регистрации космических лучей, гамма-квантов и нейтрино. В результате изучения курса аспирант приобретает фундаментальные знания о процессах генерации частиц высокой энергии в астрофизических объектах, включая Солнце и атмосферу Земли, приобретает навыки решения конкретных задач, получает представление о современном состоянии исследований в области астрофизики высоких энергий, учится понимать более широкую постановку астрофизических задач, формулировать и планировать собственные задачи в рамках этого направления.

Изучение курса предполагает наличие полученных на предыдущих уровнях образования знаний, умений и компетенций по дисциплинам «Математический анализ», «Дифференциальные уравнения», «Интегральные уравнения», «Методы математической физики», «Атомная физика», «Квантовая теория», «Ядерная физика», «Физика фундаментальных взаимодействий», «Измерительно-вычислительные системы».

Программа курса ориентирована на тематику научных исследований, проводимых в НИИПФ ИГУ, на кафедре теоретической физики, в Объединенном институте ядерных исследований (ОИЯИ, Дубна).

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Согласно ФГОС аспирант по направлению «Физика» должен обладать рядом общекультурных и профессиональных компетенций (ОПК, ПК и УК). Дисциплине «Многоканальная астрономия» соответствуют следующие из них:

- Способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с ис-

пользованием новейшего отечественного и зарубежного опыта (ПК-1);

- владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности (ПК-2);

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

В результате изучения курса «Многоканальная астрономия» аспиранты должны

знать:

- основы космологии, модели инфляции и основные этапы эволюции горячей вселенной
- наблюдаемые характеристики реликтового электромагнитного излучения и их интерпретацию
- модели устройства ярких астрофизических объектов – активных галактических ядер, микроквazarов, сверхновых, гамма-барстеров
- фундаментальные процессы генерации гамма-квантов и космических лучей в астрофизических объектах, межзвездной среде
- принципы детектирования космического излучения высокой энергии, особенности детектирования заряженной компоненты, черенковского и радио излучения ШАЛ
- Принципы построения и организации крупномасштабных наземных установок для регистрации космических лучей, гамма-квантов, нейтрино и гравитационных волн
- методы обработки экспериментальных данных, получаемых с помощью крупномасштабных астрофизических установок.

уметь:

- рассчитывать пороги регистрации сцинтилляционных и черенковских детекторов ШАЛ различного типа;
- оценивать эффективность регистрации космических лучей, гамма-квантов и нейтрино с помощью крупномасштабных наземных установок;
- получать модельные оценки характеристики космического излучения и предполагаемой статистики событий в детекторе
- использовать математический аппарат описания процессов излучения в источнике и прохождения излучения через вещество

иметь представление:

- о структуре наблюдаемой части вселенной и энергетическом балансе всех форм материи
- о ярких объектах в нашей и других галактиках
- об основных механизмах ускорения частиц в астрофизических источниках
- о процессах генерации гравитационных волн в результате коллапса или слияния компактных звезд

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц	Курсы			
		1	2	3	4
Аудиторные занятия (всего)	24/0,66		24		
В том числе:				-	-
Лекции	12/0,33		12		
Практические занятия (ПЗ)	12/0,33		12		
КСР					
Самостоятельная работа (всего)	48/1,33		48		
Вид промежуточной аттестации (зачет с оценкой)	2		2		

Общая трудоемкость	часы	72		72		
	зачетные единицы	2		2		

5. Содержание дисциплины (модуля)

5.1. Содержание разделов и тем дисциплины (модуля)

Тема 1. Объекты и задачи многоканальной астрономии. Галактики, скопления галактик, активные ядра галактик (радиогалактики, квазары, блазары и др.) как источники излучения высокой энергии. Методы определения расстояний ("лестница" расстояний): угловой размер звезды, годичный параллакс, стандартные свечи (цефеиды, сверхновые). Светимость объектов, звездные величины.

Тема 2. Эволюция Вселенной. Космология Фридмана-Леметра. Наблюдаемые структуры и компоненты Вселенной. Закон Хаббла, реликтовое излучения, анизотропия РИ (Реликт, COBE), ускоренное расширение Вселенной по данным наблюдений SN Ia, РИ БАО; эксперименты WMAP, Planck и др. Цифровой обзор неба (Sloan Digital Sky Survey). Темная энергия, космический конкорданс.

Тема 3. Методы регистрации космического излучения с помощью установок космического базирования, регистрация электронов и ядер с помощью детекторов различного типа. Установки: PAMELA, AMS и т.д. Результаты измерения спектров частиц и античастиц с помощью этих установок.

Тема 4. Регистрация рентгеновского и гамма-излучения с помощью установок космического базирования, регистрация гамма-всплесков AGILE, FERMI.

Тема 5. Энергетический спектр и состав первичного космического излучения, регистрируемого на Земле. Распространенность ядер в космических лучах и в среднем во Вселенной. Оценка мощности источников КЛ. Проблема происхождения КЛ. Космические лучи сверхвысоких энергий. Механизм Грейзена-Зацепина-Кузьмина обрезания спектра КЛ, другие потери энергии КЛ. Экспериментальные данные о КЛ при энергиях выше порога ГЗК

Тема 6. Взаимодействие космических лучей и гамма-квантов высоких энергий с атмосферой. Широкие атмосферные ливни, электромагнитные и адронные каскады. Генерация черенковского и радио излучения ШАЛ. Флуоресцентное излучение.

Тема 7. Регистрация заряженной компоненты ШАЛ с помощью сцинтилляционных и черенковских детекторов. Установки KASCADE-Grande, Ice-Top, Auger, Tunka –Grande TA и другие.

Тема 8. Регистрация черенковского излучения ШАЛ. Широкоугольные черенковские установки Tunka-133 TAIGA-HiSCORE. Гамма- телескопы, регистрирующие черенковское излучение ШАЛ на базе Imaging Atmospheric Cherenkov Telescope (IACT): HEGRA, H.E.S.S., Veritas, MAGIC. Гибридная гамма-обсерватория TAIGA..

Тема9. Задачи гамма-астрономии. Основные механизмы генерации γ -излучения высокой энергии. Источники диффузного излучения галактики и внегалактических астрофизических объектов. Синхотронное излучение, комптоновское рассеяние, обратный комптон-эффект, фотрождение пионов как основные составляющие механизма генерации γ -излучения высокой энергии.

Тема 10. Нейтринная астрофизика. Регистрация Солнечных нейтрино. экспериментальная проверка стандартной солнечной модели. Открытие осцилляций нейтрино. Поверхностные детекторы нейтрино: Super-Kamiokande, SNO, Баксанский нейтринный телескоп и др. Крупномасштабные нейтринные телескопы в природных средах: DUMAND (проект), NT200, AMANDA, Ice-Cube, ANTARES, Baikal-GVD. Атмосферные нейтрино. Открытие астрофизических нейтрино высоких энергий. Поглощение нейтрино высоких энергий в Земле.

Тема 11. Механизмы генерации радио излучения ШАЛ. Установки для регистрации радио излучения ШАЛ: Tunka-Rex, LOPEs, восстановление параметров ШАЛ по данным о их радио излучении.

Тема 12. Многоканальная астрономия 21 века. Принципы организации глобальной сети многоканальной астрономии. Перспективы развития многоканальной астрономии. Будущие проекты крупномасштабных астрофизических установок: CTA, LHAASO, Giper-Kamiokande, Baikal-GVD, гамма-обсерватория TAIGA.

5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин	№ разделов и тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин)
1	Нейтринная астрономия и астрофизика	Темы 1, 2, 4, 5, 7, 8, 9,10

5.3. Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий

№ п/п	Наименование темы	Виды занятий в часах		
		Л	ПЗ	СРС
1	Объекты и задачи астрофизики высоких энергий. Галактики, скопления галактик, активные ядра галактик как источники излучения высокой энергии	1		2
2	Эволюция Вселенной. Компоненты и структуры Вселенной. Закон Хаббла, ускоренное расширение Вселенной, темная энергия	1		4
3	Методы регистрации космического излучения с помощью установок космического базирования	1	2	4
4	Регистрация рентгеновского и гамма-излучения с помощью установок космического базирования	1	2	4
5	Энергетический спектр и состав первичного космического излучения, регистрируемого на Земле	1	2	4
6	Взаимодействие космических лучей и гамма-квантов высоких энергий с атмосферой. Широкие атмосферные ливни	1	1	4
7	Регистрация заряженной компоненты ШАЛ с помощью сцинтилляционных и черенковских детекторов.	1	1	4
8	Регистрация черенковского излучения ШАЛ.	1	1	4
9	Задачи гамма-астрономии	1	1	4
10	Нейтринная астрофизика	1		8
11	Механизмы генерации радио излучения ШАЛ. Установки для регистрации радио излучения ШАЛ.	1	1	4
12	Многоканальная астрономия 21 века. Принципы организации глобальной сети многоканальной астрономии	1	1	2

6. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1	Тема 3	Распределение массы в галактиках, вращательные кривые спиральных галактик, темная материя	1	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1,2,3
2	Тема 4	Механизмы потерь энергии космическими лучами и гамма-квантами в межзвездном пространстве	1	Задание на семинаре в виде задачи	
3.	Тема 5	Космические лучи сверхвысоких энергий. Оценка мощности источников КЛ, спектр и элементный состав	2	Задание на семинаре в виде задачи	
4	Тема 6	Механизмы генерации радио сигналов ШАЛ, Методы выделения радио сигналов ШАЛ	2	Задание на семинаре в виде задачи	
5	Тема7	Расчет поглощения мюонов в грунте и определение минимальной глубины установки детекторов мюонов	2	Задание на семинаре в виде задачи	
6	Тема 8	Параметры Хилласа, Выделение гамма-квантов из адронного фона.	2	Задание на семинаре в виде задачи	
7	Тема 9	Оценка порога регистрации черенковского излучения ШАЛ с помощью широкоугольных детекторов.	2	Задание на семинаре в виде задачи	

7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)

Курсовые работы не предусмотрены.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература

1. Бисноватый-Коган Г. С.. Релятивистская астрофизика и физическая. М. Красанд, 2011.363 с.
2. Березинский В.С. и др. Астрофизика космических лучей. М.: "Наука", 1990. – 523 с.
3. Stanev T. High Energy Cosmic Rays. Praxis Publishing Ltd, Chichester, 2010.
4. Мурзин В.С. Астрофизика космических лучей. М. Университетская книга. Логос. 2007. – 488 с.
5. Панасюк М.И. Радиоактивная Вселенная М. Фрязино. 2019. – 270 с.

Дополнительная литература

1. Горбунов Д.С. Введение в теорию ранней Вселенной. Космологические возмущения. Инфляционная теория [Текст] : / Д. С. Горбунов, В. А. Рубаков ; Рос. акад. наук, Ин-т ядерных исслед. - М. : Красанд, 2010. - 555 с. (2)

2. Засов А. В., Постнов К. А.. Общая астрофизика ; Московский гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, Физ. фак., Гос. астроном. ин-т им. П. К. Штернберга. - Фрязино : Век 2, 2006. - 493 с.

3. Синеговский С. И. Космические нейтрино высоких энергий [Электронный ресурс] : учеб. пособие / С. И. Синеговский. - ЭВК. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2009. - Режим доступа: ЭЧЗ "Библиотех". - Неогранич. Доступ.

4. Клапдор-Клайнротхаус Г. В., Цюбер К. Астрофизика элементарных частиц. Пер.с нем., Под ред. А.А.Беднякова. - М. : Ред.журн."Успехи физ. наук", 2000. - 496 с.

5. Mészáros P. High Energy Universe. Ultra-High Energy Events in Astrophysics and Cosmology. Cambridge University Press Cambridge University Press, New York, 2010.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

Научная библиотека ИГУ <http://library.isu.ru/>, поисковая система INSPIRE журнальных статей и материалов конференций <http://inspirehep.net/>, базы данных и электронных препринтов по физике и астрофизике высоких энергий <http://arxiv.org/>.

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебная аудитория для проведения лекционных и практических занятий. При чтении курса используются компьютер и мультимедийное оборудование. Лекции, материалы курса доступны на сайте http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/homepage/sinegovsky.html.

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 аспирантов и приобретения ими навыков решения практических и проблемных задач;
- **консультации** – еженедельные;
- **самостоятельная внеаудиторная работа** направлена на приобретение навыков самостоятельного решения задач по дисциплине;

11. Оценочные средства (ОС)

11.1. Оценочные средства для входного контроля

Для изучения данного курса аспирант должен владеть основами физики и теоретической физики, уметь пользоваться стандартными поисковыми сервисами сети Интернет. Входной контроль умений и знаний не проводится.

11.2. Оценочные средства текущего контроля.

Выполнение контрольных заданий

Примерный список вопросов к зачету

1. Галактические и внегалактические источники излучения высокой энергии. Сверхновые, активные галактические ядра, килоновые и т.д. Светимость аккреционных дисков, эффективность преобразования гравитационной энергии АДЧД в излучение.
2. Энергетический спектр и состав первичного космического излучения, регистрируемого на Земле. Распространенность ядер в КЛ и в среднем во вселенной. Оценка мощности источников КЛ. Проблема происхождения КЛ. Галактические ПэВатроны.

3. Космические лучи сверхвысоких энергий. Степенной спектр КЛ как результат стохастического процесса. Эффект Грейзена-Зацепина-Кузьмина обрезания спектра КЛ, другие потери энергии КЛ. Экспериментальные данные о КЛ при энергиях выше порога ГЗК.
4. Поглощение гамма – квантов высоких энергий. Гамма – горизонт. Поиск нарушений Лоренц-инвариантности и проявлений темной материи, аксионы.
5. Задачи нейтринной и гамма-астрономии. Основные механизмы рождения нейтрино и γ -излучения высокой энергии. Источники диффузного излучения галактики и внегалактических астрофизических объектов. Синхротронное излучение, комптоновское рассеяние, обратный комптон-эффект, фотрождение пионов как основные составляющие механизма генерации γ -излучения высокой энергии.
6. Принципы и методы регистрации космических лучей и гамма-квантов высоких и сверхвысоких энергий с помощью детекторов космического базирования и наземных установок.
7. Развитие широкого атмосферного ливня, характеристики ШАЛ. Функция пространственного распределения для различных компонент ШАЛ. Генерация черенковского и радиоизлучения ШАЛ. Флуоресцентное свечение ШАЛ.
8. «Прямые» методы регистрации заряженных частиц и гамма-квантов высоких энергий. Детекторы нейтронов.
9. Электровакуумные детекторы фотонов, основные характеристики ФЭУ. Полупроводниковые детекторы фотонов.
10. Сцинтилляционные и черенковские детекторы заряженных частиц, их основные характеристики.
11. Методы регистрации радио излучения ШАЛ, методы выделения радио сигналов ШАЛ из фона.
12. Нейтринные телескопы в естественных средах. Принципы выделения астрофизических нейтрино.
13. Крупномасштабные действующие установки для регистрации ШАЛ и результаты восстановления спектра и элементного состава космических лучей высоких энергий.
14. Гамма-телескопы на базе ИАСТ, принципы подавления фона заряженных частиц. Параметры Хилласа.

Примерный список задач к зачету

Задача 1. Используя закон сохранения энергии-импульса определить порог поглощения гамма-квантов с энергией E_γ на фоновых фотонах с энергией E_ν высоких энергий

Задача 2. Найдите пороговую энергию протона (в л.с.) для процесса на реликтовых фотонах $p + \gamma \rightarrow e^+ + e^- + p$.

Задача 3. Рассчитать поглощение электронов с энергией E в грунте с плотностью ρ .

Задача 4. Оценить угловую зависимость потока нейтрино с энергией E в зависимости от угла на глубине 1 км в озере Байкал в предположении изотропности падающего на Землю потока.

Задача 5. Определить зависимость порога регистрации черенковского излучения ШАЛ от параметров ФЭУ и светового фона.

Разработчик:



декан, д.ф.-м.н.

Н.М.Буднев

Программа рассмотрена на заседании кафедры теоретической физики «20» марта 2019 г.

Протокол № 8

И.о. зав. кафедрой



С.В. Ловцов

Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.