



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

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

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Код дисциплины Б1.В.ДВ.2.1

Наименование дисциплины: Астрофизика и космология

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 /Буднев Н.М./

Программа рассмотрена на заседании кафедры
теоретической физики

«29» 03 2018 г. Протокол № 7

И.о. зав. кафедрой /Ловцов С.В./

Иркутск 2018 г.

Содержание

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

1. Цели и задачи дисциплины:

Цель курса «Астрофизика и космология» - изучение основных этапов эволюции Вселенной (первичный нуклеосинтез, отщепление нейтрино и фотонов от вещества, образование структур, хаббловское расширение), процессов в астрофизических объектах, космического излучения высокой энергии (космические лучи, гамма-кванты и нейтрино), а также методов регистрации и детекторов космического излучения. В результате изучения курса студент приобретает фундаментальные знания фундаментальных процессах происходящих во Вселенной на разных этапах ее эволюции, о механизмах ускорения заряженных частиц в астрофизических объектах и процессах генерации космического излучения, знакомится с методами регистрации на Земле потоков космического излучения, приобретает навыки решения конкретных задач астрофизики высоких энергий.

Задачи курса

Ввести аспирантов в круг проблем современной астрофизики и космологии, дать представление о физических процессах в астрофизических источниках излучения высокой энергии, познакомить с результатами измерений космического излучения, принципами работы крупномасштабных установок для детектирования космических лучей, изучить специальные методы решения астрофизических задач. В рамках курса «Астрофизика и космология» студенты изучают устройство вселенной и ее структур, астрофизические объекты как потенциальные источники космических лучей, гамма-квантов и нейтрино, механизмы генерации высокоэнергетического космического излучения.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП:

Курс «Астрофизика и космология» предназначен для подготовки аспирантов по направлению «Физика и астрономия», способного работать в составе коллектива исследователей, проводящих эксперименты на гигантских установках по регистрации космического излучения. В результате изучения данной дисциплины специалист должен знать современное состояние исследований в области астрофизики высоких энергий, знать принципы регистрации космического излучения в широком диапазоне энергий, иметь представление о детекторах частиц высоких энергий, понимать более широкую постановку астрофизических задач.

Изучение курса предполагает наличие полученных на предыдущем уровне образования основных знаний, умений и компетенций по дисциплинам «Математический анализ», «Дифференциальные уравнения», «Интегральные уравнения», «Методы математической физики», «Теоретическая механика», «Квантовая теория», «Термодинамика и статистическая физика», «Ядерная физика», «Квантовая хромодинамика». «Теория электрослабых взаимодействий».

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).

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать:

- основные закономерности процессов при высоких энергиях в сверхновых, квазизвездных объектах и межзвездной среде;
- механизмы генерации космического излучения высокой энергии, модели источников;
- принципы детектирования космического излучения;
- методы решения задач астрофизики высоких энергий, пакеты программ моделирования прохождения частиц высоких энергий через вещество.

Уметь: получать простые модельные оценки характеристик космического излучения и предполагаемой статистики событий в детекторе.

Владеть: математическим аппаратом описания процессов излучения в источнике и прохождения излучения через вещество.

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)					
Общая трудоемкость	часы	108	108		
	зачетные единицы	3	3		

5. Содержание дисциплины

5.1. Содержание разделов и тем дисциплины

Тема 1. Объекты и задачи астрофизики и космологии. 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 излучение, анизотропия РИ (Реликт, COBE), ускоренное расширение Вселенной по данным наблюдений SN Ia, РИ БАО; экс-

перименты WMAP, Planck и др. Цифровой обзор неба (Sloan Digital Sky Survey). Темная энергия, космический конкорданс.

Тема 3. Распределение массы в галактиках и вращательные кривые спиральных галактик, гипотеза темной материи.

Тема 4. Основная модель активного галактического ядра, светимость аккреционных дисков, эффективность преобразования гравитационной энергии АДЧД в излучение.

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.

Тема 6. Космические лучи сверхвысоких энергиях. Механизм Грейзена-Зацепина-Кузьмина обрезания спектра КЛ, другие потери энергии КЛ. Экспериментальные данные о КЛ при энергиях выше порога ГЗК. Уравнения переноса КЛ, диффузионная модель. Эффект Комптона-Геттинга, анизотропия КЛ.

Тема 7. Ударные волны в астрофизических источниках, основные уравнения (законы сохранения) для ударных волн, ударная адиабата. Диффузионный механизм ускорения заряженных частиц в астрофизических источниках. Степенной спектр КЛ как результат стохастического процесса. Механизм Ферми 2-го порядка и 1-го порядка. Показатель спектра КЛ и оценка максимально достижимой энергии при ускорении частиц на фронтах ударных волн, генерируемых во вспышках сверхновых. Релятивистские ударные волны, конверсионный механизм ускорения частиц. Другие возможные механизмы генерации КЛ сверхвысоких энергий.

Тема 8. Взаимодействие космических лучей с атмосферой Земли. Широкие атмосферные ливни, ядерный каскад, электронно-фотонные ливни. Модель ядерного каскада в атмосфере, методы приближенного решения уравнений каскада. Условия расщепления системы, нуклонный каскад. Точно решаемая модель нуклонного каскада и ее расширение на случай зависящих от энергии свободных пробегов частицы. Мезонный каскад, атмосферные π - и K -мезоны высоких энергий.

Тема 9. Генерация мюонов и нейтрино в адронном каскаде. Расчет спектра и зенитно-углового распределения, данные экспериментов. Атмосферные нейтрино как фон для астрофизических нейтрино и калибровка нейтринных телескопов. Характеристики потока прямых атмосферных нейтрино.

Тема 10. Принципы регистрации космических лучей и гамма-квантов высоких энергий. Детекторы черенковского излучения, флуоресцентные телескопы и гибридные детекторы. Крупномасштабные установки для регистрации ШАЛ (Обсерватория им. П. Оже, Якутская установка ШАЛ, KASCADE-Grande, Тунка, Telescope Array и др.) и результаты восстановления спектра и элементного состава КЛ высоких энергий.

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	Нейтринная астрофизика	Темы 1, 2, 4, 5, 7, 8, 9,10
---	------------------------	-----------------------------

5.3. Разделы и темы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование темы	Виды занятий в часах		
		Лекции	Практ. зан.	СРС
1	Объекты и задачи астрофизики высоких энергий. Галактики, скопления галактик, активные ядра галактик как источники излучения высокой энергии	4	-	6
2	Эволюция Вселенной. Компоненты и структуры Вселенной. Закон Хаббла, ускоренное расширение Вселенной, темная энергия	2	-	6
3	Распределение массы в галактиках, вращательные кривые спиральных галактик, темная материя	2	3	6
4	Модель активного галактического ядра, светимость аккреционных дисков, преобразование гравитационной энергии в излучение	2	3	6
5	Оценка мощности источников КЛ, спектр и элементный состав	2	3	6
6	Механизм ГЗК, экспериментальные данные о КЛ при энергиях выше порога ГЗК	2	4	6
7	Ударные волны в астрофизических источниках. Диффузионный механизм ускорения частиц.	2	4	6
8	Взаимодействие КЛ с атмосферой Земли, ШАЛ, ядерный каскад, ЭФЛ. Модель ядерного каскада в атмосфере, решение уравнений каскада	2	4	6
9	Генерация мюонов и нейтрино в адронном каскаде, спектр и зенитно-угловое распределение, данные экспериментов	4	3	6
10	Принципы регистрации КЛ высоких и сверхвысоких энергий. Крупномасштабные установки для регистрации ШАЛ и результаты восстановления спектра и элементного состава КЛ высоких энергий	2	-	6

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	3	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1 ПК-2 ПК-3
2	Тема 4	Модель активного галактического ядра, светимость аккреционных дисков, преобразование гравитационной энергии в излучение	3	Задание на семинаре в виде задачи	

3.	Тема 5	Оценка мощности источников КЛ, спектр и элементный состав	3	Задание на семинаре в виде задачи
4	Тема 6	Механизмы потерь энергии космическими лучами в межзвездном пространстве	4	Задание на семинаре в виде задачи
5	Тема 7	Диффузионный механизм ускорения частиц	4	Задание на семинаре в виде задачи
6	Тема 8	Модели ядерного каскада в атмосфере, решение уравнений каскада	4	Задание на семинаре в виде задачи
7	Тема 9	Генерация мюонов и нейтрино в адронном каскаде, спектр и зенитно-угловое распределение, прямые мюоны ШАЛ	3	Задание на семинаре в виде задачи

7. Примерная тематика курсовых работ

Курсовые работы не предусмотрены.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Основная литература

1. Горбунов Д. С., Рубаков В. А. Введение в теорию ранней Вселенной. Космологические возмущения. Инфляционная теория. Рос. акад. наук, Ин-т ядерных исслед.- М.: Красанд, 2010. - 555 с.
2. Бисноватый-Коган, Г. С. Релятивистская астрофизика и физическая космология. М. : Красанд, 2011.
3. 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, 2011. 493 с.

Дополнительная литература

1. Мурзин В. С. Астрофизика космических лучей: Московский гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. М. : Логос : Университет. кн., 2007. 487 с.
2. Шапиро С., Тьюколски С. Черные дыры, белые карлики и нейтронные звезды. Физика компактных объектов. В двух частях. М.: Мир, 1985.
2. Синеговский С.И. Космические нейтрино высоких энергий. Иркутский университет, 2009. 61 с
3. Птускин В.С. УФН. 2007. Т. 177. С. 558-565.
4. Деришев Е.В., Кочаровский В.В., Кочаровский Вл. В. УФН. 2007. Т. 177. С. 323-330.
5. Клапдор-Клайнгротхаус Г.В., Цюбер К. Астрофизика элементарных частиц. М.: Ред. журн. "Успехи физических наук", 2000. 496 с.

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

При чтении курса используются компьютерные технологии, лекции в специализирован-

ных аудиториях. Часть материалов 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 задач;
- **практические занятия**, направленные на активизацию познавательной деятельности студентов и приобретения ими навыков решения 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 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 и задач к зачету

1. Эволюция Вселенной. Космология Фридмана-Леметра. Наблюдаемые структуры и компоненты Вселенной. Закон Хаббла, темная энергия.
2. Горячая Вселенная, отщепление нейтрино, первичный нуклеосинтез.
3. Реликтовое излучение, анизотропия РИ, эксперименты Реликт, COBE WMAP, Planck.
4. Ускоренное расширение Вселенной по данным наблюдений SN Ia, РИ, БАО;. Цифровой обзор неба (Sloan Digital Sky Survey). Темная энергия, космический конкорданс.
5. Распределение массы в галактиках, вращательные кривые спиральных галактик, темная материя.
6. Астрофизические источники излучения высокой энергии. Основная модель активного галактического ядра, светимость аккреционных дисков.
7. 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.
8. Космические лучи сверхвысоких энергий. Механизм Грейзена-Зацепина-Кузьмина обрезания спектра КЛ, другие потери энергии КЛ. Экспериментальные данные о КЛ при энергиях выше порога ГЗК.
9. Ударные волны в астрофизических источниках, основные уравнения для ударных волн.
10. Диффузионный механизм ускорения заряженных частиц в астрофизических источниках (механизм Ферми 1-го порядка).
11. Развитие широкого атмосферного ливня, характеристики ШАЛ, уравнения электрон-фотонного каскада и их решения для упрощенных моделей.

12. Модель адронного каскада в атмосфере, методы приближенного решения уравнений каскада. Точно решаемая модель нуклонного каскада и ее расширение на случай зависящих от энергии свободных пробегов частицы.
13. Принципы и методы регистрации КЛ, гамма-квантов и нейтрино высоких и сверхвысоких энергий от астрофизических источников: а) черенковские детекторы, б) сцинтилляционные детекторы; в) флуоресцентные детекторы, г) радиодетектирование, е) акустические детекторы.
14. Крупномасштабные действующие установки для регистрации ШАЛ и результаты восстановления спектра и элементного состава КЛ высоких энергий.

Задача 1. Найдите пороговую энергию протона космических лучей (в лаб. системе) для процесса рождения e^+e^- -пары во взаимодействии с реликтовыми фотонами $p+\gamma \rightarrow e^+e^-+p$.

Задача 2. Найти приближенное выражение для спектра вторичных нуклонов, образующихся в результате прохождения космических лучей через атмосферу Земли, рассматривая упрощенную модель каскада: а) степенной спектр КЛ; б) фейнмановский скейлинг сечений инклюзивных реакций; в) логарифмический рост сечений неупругих нуклон-ядерных соударений; г) нуклонная часть каскада отцеплена от мезонной (пренебрегаем вкладом рождения $N\bar{N}$ -пар мезонами).

Задача 3. Оценить максимальную энергию протона, приобретаемую за счет диффузионного механизма в сброшенной оболочке сверхновой (стандартный сценарий).

Разработчик



 (подпись)

профессор кафедры
теоретической физики

С.И. Синеговский

Программа рассмотрена на заседании кафедры теоретической физики «29» 03 2018 г., протокол № 7.

И.о. зав. кафедрой, доцент


 _____ С.В. Ловцов