

Рабочая программа дисциплины

Введение в физику космических лучей, дисциплина профиля.

Лекторы. Докт. физ.-мат. наук, профессор Свертилов Сергей Игоревич, кафедра физики космоса, sis@corpnas.ru, тел (495) 939-51-60

Аннотация дисциплины.

Курс лекций является дисциплиной профиля кафедры физики космоса и посвящен рассмотрению основных проблем физики космических лучей, некоторых вопросов физики высоких энергий, элементарных частиц и астрофизики, необходимых для понимания и последующего изучения процессов образования, диффузии и поглощения космического излучения. Рассматриваются частицы первичного космического излучения (ПКИ), методы их изучения в космических лучах. Изучается прохождение космических частиц через атмосферу, взаимодействия с ядрами атомов атмосферы, а также, ядерная и электронно-фотонная компоненты каскадов. Рассматривается прохождение космических лучей через межзвездное пространство, магнитосферу и радиационные пояса Земли. Изучаются основные проблемы, связанные с взаимодействием космических лучей с гелиосферой, солнечным ветром, основные типы вариаций.

Курс является базовым для последующего изучения всех спецкурсов кафедры физики космоса.

Содержание и структура дисциплины.

Вид работы	Семестр			Всего
	6			
Общая трудоёмкость, акад. часов	72			72
Аудиторная работа:				
Лекции, акад. часов	34			34
Семинары, акад. часов				
Лабораторные работы, акад. часов				
Самостоятельная работа, акад. часов	38			38
Вид итогового контроля (зачёт, зачёт с оценкой, экзамен)				ЭКЗАМЕН

№ раз-дела	Наименование раздела Разделы могут объединять несколько лекций	Трудоёмкость (академических часов) и содержание занятий Распределение общей трудоёмкости по семестрам указано в рабочих планах (приложение 7)			Форма текущего контроля	
		Аудиторная работа		Самостоятельная работа обеспечена учебными пособиями и интернет ресурсами Самостоятельная работа		
		Лекции	Семинары			Лабораторные работы
1	Первичное космическое излучение.	2 часа. Содержание лекции 1. Введение: история открытия космических лучей (КЛ) и их основные характеристики.			2 часа Тема самостоятельной работы 1. Работа с лекционным материалом по теме - основные характеристики космических лучей.	Дз.
		2 часа. Содержание лекции 2. Элементарные частицы, их состав, типы и характеристики взаимодействий, сечения процессов, кинематика столкновений релятивистских частиц.			2 часа Тема самостоятельной работы 2. Работа с лекционным материалом и решение задач на тему "Элементарные частицы и их взаимодействия"	
		2 часа. Содержание лекции 3. Первичное космическое излучение (ПКИ) и его основные свойства: а) степенной вид энергетического спектра ПКИ, его представление в интегральном и дифференциальном виде. Порог по энергии, верхняя граница спектра. Изотропия ПКИ. б) химический состав ПКИ, отличие его от состава межзвездного газа. Время жизни ПКИ. в) электронно-фотонная компонента ПКИ.			4 часа Тема самостоятельной работы 3. Работа с лекционным материалом по теме - Первичное космическое излучение, состав, энергетический спектр Подготовка реферата на тему. "Новейшие экспериментальные данные о верхней границе спектра космических лучей".	Об.
		2 часа. Содержание лекции 4. Нейтрино в ПКИ. Свойства нейтрино. Процессы генерации нейтрино. Методы детектирования. Нейтринная астрофизика.			2 часа Тема самостоятельной работы 4. Работа с лекционным материалом и решение задач на тему "Свойства слабых взаимодействий."	Дз.
		2 часа. Содержание лекции 5. Всеволновая астрономия. Основные процессы, приводящие к возникновению электромагнитного радио-, рентгеновского и гамма-излучения. Космические гамма – всплески. Методы наблюдения.			2 часа Тема самостоятельной работы 5. Работа с лекционным материалом и подготовка реферата по теме " Гамма-астрономия - недавние достижения и открытия"	Об.

		2 часа. Содержание лекции 6. Происхождение космических лучей КЛ. Требования к мощности источников. Галактическая теория происхождения космических лучей. Взрывы сверхновых. Механизмы ускорения КЛ. Диффузные источники. Точечные источники. Внегалактические источники. Активные ядра галактик.			2 часа Тема самостоятельной работы 6. Работа с лекционным материалом и подготовка реферата по темам "Механизмы ускорения космических лучей", "Источники космических лучей"	Об.
2	Название раздела 2 Прохождение КЛ через магнитосферу Земли.	2 часа. Содержание лекции 7. Процессы взаимодействия ПКИ с магнитным полем Земли. Теория Штермера. Широтный, азимутальный, долготный эффекты. Радиационные пояса Земли (РПЗ), их открытие и наблюдаемые характеристики: местоположение в магнитосфере Земли, состав, структура, энергетический спектр. Внутренний и внешний пояс.			2 часа. Тема самостоятельной работы 7. Работа с лекционным материалом и решение задач на тему "Движение заряженных частиц в магнитном поле Земли".	Дз.
		2 часа. Содержание лекции 8. История и вариации ПКИ. Стабильность интенсивности КЛ во времени. Вариации КЛ атмосферного и геомагнитного происхождения. Вариации КЛ, связанные с Солнцем и солнечной активностью. Солнечный ветер и его взаимодействие с магнитосферой Земли, влияние на потоки КЛ в гелиосфере. Солнечные вспышки. Магнитные бури, Эффект Форбуша. Солнечные космические лучи.			2 часа. Тема самостоятельной работы 8. Работа с лекционным материалом и решение задач на тему "Движение заряженных частиц в магнитном поле Земли".	
		2 часа. Содержание лекции 9. Коллоквиум.			4 часа. Тема самостоятельной работы 9. Работа с лекционным материалом и подготовка реферата на тему "Вариации космических лучей". Подготовка к коллоквиуму.	Об. К РК.

3.	Название раздела 3_Прохождение КЛ через атмосферу.	2 часа Содержание лекции 10. Основные характеристики сильных взаимодействий при высоких энергиях. Множественное рождение частиц. Эффективное сечение, коэффициент неупругости, множественность, импульсные и угловые распределения вторичных частиц. Природа вторичных частиц. Скейлинг или масштабная инвариантность.			2 часа. Тема самостоятельной работы 10. Работа с лекционным материалом и решение задач на тему "Основные характеристики сильных взаимодействий".	Дз.
		2 часа. Содержание лекции 11. Процессы, приводящие к рождению и поглощению космического излучения в атмосфере: для заряженных и нейтральных частиц – ядерные взаимодействия, распад, потери на ионизацию и тормозное излучение, Комптон- и фотоэффект, рождение пар. Аннигиляция заряженных частиц.			2 часа. Тема самостоятельной работы 11. Работа с лекционным материалом и решение задач на тему "Взаимодействие частиц и излучений с атмосферой Земли"	Дз.
		2 часа Содержание лекции 12. Прохождение КИ через атмосферу Земли. Основные компоненты КИ в атмосфере: ядерно-активная компонента, жесткая – проникающая компонента, мягкая – электромагнитная компонента. Генетическая связь между компонентами.			2 часа. Тема самостоятельной работы 12. Работа с лекционным материалом и решение задач на тему "Взаимодействие частиц и излучений с веществом детекторов"	Дз.
		2 часа Содержание лекции 13. Ядерно-каскадный процесс в атмосфере. Уравнения, ядерно-каскадных процессов. Электронно-фотонная компонента, уравнения электромагнитных каскадных процессов.			2 часа. Тема самостоятельной работы 13. Работа с лекционным материалом и решение задач на тему "Электронно-фотонные каскады в приближении А"	Дз.
		2 часа Содержание лекции 14. Широкие атмосферные ливни (ШАЛ). Основные характеристики ШАЛ: размеры, направление оси, пространственная структура, продольное развитие ливня. Мюонная компонента ШАЛ.			2 часа. Тема самостоятельной работы 14. Работа с лекционным материалом и подготовка реферата по теме "Первичное космическое излучение сверхвысокой энергии - недавние достижения и открытия" .	Об.

	<p>2 часа Содержание лекции 15. Экспериментальные методы регистрации ШАЛ. Радиоизлучение и излучение Вавилова-Черенкова. Ионизационное свечение ШАЛ. Характеристики экспериментальных установок по изучению широких атмосферных ливней. Современные эксперименты по изучению ШАЛ</p>			<p>2 часа. Тема самостоятельной работы 15. Работа с лекционным материалом и решение задач на тему "Взаимодействие частиц и излучений с атмосферой Земли, излучение Вавилова-Черенкова".</p>	Дз.
	<p>2 часа Содержание лекции 16. Определение энергии и свойств первичной частицы. ПКИ сверхвысоких энергий. Модельные описания ШАЛ. Верхняя граница спектра первичного космического излучения.</p>			<p>2 часа. Тема самостоятельной работы 16. Работа с лекционным материалом и подготовка реферата по теме "Современные эксперименты по регистрации космических частиц сверхвысоких энергий."</p>	Об.
	<p>2 часа Содержание лекции 17. Коллоквиум.</p>			<p>2 часа. Тема самостоятельной работы 17. Работа с лекционным материалом, подготовка к коллоквиуму.</p>	К.

Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Примеры тем для рефератов

Первичное космическое излучение и его свойства.

Прохождение космического излучения через магнитосферу Земли.

Образование широких атмосферных ливней космических лучей.

Темная материя и темная энергия.

Реликтовое излучение. Изотропия и анизотропия.

Гелиосфера и солнечный ветер.

Примеры задач и вопросов для домашних и аудиторных занятий.

Примеры задач:

1. Определить предельный импульс протонов на геомагнитной широте 50° под углом 60° к вертикали с востока.
2. Чему равен радиус периодической орбиты для электронов с энергией 60 ГэВ?
3. Чему равен широтный эффект между экватором и $\lambda=50^\circ$ для частиц с энергией 60 ГэВ?
4. При каком соотношении энергий ядро железа и протон будут двигаться по одинаковым траекториям?
5. Получить соотношение между жесткостью и энергией в нерелятивистском случае.
6. Какова спиральность мюона в реакции $\bar{\nu}_e + p \rightarrow \mu + n$?
7. Чему равна энергия столкновения \sqrt{s} в СЦМ, если энергия налетающего адрона в ЛС равна $E_0=100$ ГэВ?
8. При распаде π^0 - мезона на лету один из фотонов в его собственной системе вылетает точно назад. Под каким углом летит этот фотон в ЛС?
9. Какую толщину свинца необходимо использовать в эксперименте по определению энергии фотонов в области порядка 10^5 ГэВ по максимуму каскада?
10. Определить толщину вещества в калориметре для измерения энергии фотонов с погрешностью 10%.
11. Вычислить энергию нейтрино при распаде остановившихся пионов и каонов.
12. Определите максимальную энергию мюона при распаде таона.
13. Определить пробег нейтрино с энергией 10 ГэВ в воде.
14. Какая часть нейтрино поглотится при прохождении через Солнце по средней хорде.
15. Каково соотношение потерь энергии на тормозное излучение электронов, мюонов и таонов?
16. Найдите лоренц-фактор системы координат, в которой вторичные частицы, рожденные в пр - столкновении разлетаются симметрично.
17. При какой энергии вероятность распада π^0 - мезона будет равна вероятности взаимодействия?
18. Какой интервал быстрот занимают продукты распада ρ -мезона?
19. Оцените максимальную энергию пионизационных частиц при первичной энергии 10^5 ГэВ.
20. Какую энергию за единицу времени потеряют протоны с энергией 1 ГэВ в окрестностях орбиты Юпитера, если скорость движения магнитных неоднородностей равна 300 км/с?
21. Какую энергию должны иметь частицы, чтобы рассеиваться на угол ~ 1 рад при прохождении через Галактику?
22. Оцените полную энергию, содержащуюся в реликтовом излучении.

Примеры вопросов:

1. Состав и энергия первичных космических лучей.
2. Мягкая и жесткая компоненты космических лучей.
3. Механизм образования пи-мезонов и мюонов в космических лучах. Характеристики распада пи-мезонов и мюонов.
4. Почему электроны и позитроны относятся к "мягкой" компоненте ШАЛ и поглощаются целиком приблизительно в 10 см свинца, а мюоны той же энергии относятся к "жесткой" компоненте и свободно проходят через этот слой?
5. Время жизни мюонов, учет эффекта, следующего из специальной теории относительности.
6. Зависимость вероятности поглощения и распада от расстояния, пройденного мюонами в атмосфере.
7. Описание экспериментальной установки и порядок выполнения работы по изучению космических лучей.
8. Почему изотропно реликтовое излучение. Современные данные об анизотропии.
9. Какие измерения нужно провести, чтобы метеоритным методом оценить интенсивность космических лучей миллион лет назад? Возраст метеорита неизвестен.
10. Что можно сказать о происхождении вариации, которая имеет одинаковую фазу в 18 часов местного времени в конце марта и в 6 часов утра в конце сентября?
11. В одной из удаленных галактик зарегистрировано радиоизлучение синхротронного происхождения с спектральным индексом 1. Какие предположения можно высказать о спектре космических лучей в этой галактике?
12. Допустим, что магнитные мелкомасштабные неоднородности в галактике имеют размеры от 0.1 до 100 пс. Частицы каких энергий приобретут изотропное распределение в результате рассеяния на этих неоднородностях?

Перечень тем и вопросов для экзамена по курсу «Введение в физику космических лучей»

1. История открытия космических излучений. Основные этапы изучения космических лучей (КЛ). Что измеряют в экспериментах по изучению КЛ.
2. Состав и свойства первичного космического излучения (ПКИ). Экспериментальные данные и методики.
3. Энергетический спектр, хим. состав ПКИ, природа степенного спектра космических частиц, прохождение космического излучения через межзвездное пространство.
4. Открытие и свойства лептонов. Нейтрино, его свойства, процессы генерации, детектирование.
5. Гамма-астрономия, методы наблюдения, современные данные, проблемы.
6. Рентгеновская-астрономия, методы наблюдения, современные данные, проблемы.
7. Гамма-астрономия сверхвысоких энергий, методы наблюдения, современные данные, проблемы.
8. Происхождение космических лучей, источники, механизмы ускорения.
9. Магнитосфера Земли, взаимодействие ПКИ с магнитным полем Земли. Широтный, азимутальный эффекты.
10. Радиационные пояса Земли, открытие, характеристики. Магнитосферы и радиационные пояса планет солнечной системы.
11. Вариации интенсивности космических лучей. Гелиосфера. Солнечные космические лучи. Солнечный ветер и его взаимодействие с магнитосферой Земли.
12. Прохождение космических излучений через атмосферу Земли, взаимодействия с ядрами атомов воздуха.
13. Сильные взаимодействия, множественное рождение частиц. Ядерно-каскадный процесс в атмосфере.
14. Исследования адронов в глубине атмосферы.

15. Электромагнитные взаимодействия, потери энергии. Мюоны, электроны и фотоны в ШАЛ.
16. Ядерно-активная и электромагнитная компоненты космических лучей.
17. Широкие атмосферные ливни, их характеристики, методы регистрации. Модели ШАЛ. Современные задачи и эксперименты.
18. Определение энергии первичных космических частиц, границы спектра ПКИ.

Учебно-методическое обеспечение дисциплины

Основная литература

1. В.С. Мурзин. Введение в физику космических лучей. Издательство Московского университета, 1988 г.
2. И.В. Ракобольская, Н.Н. Калмыков, С.И. Свертилов Введение в физику космических лучей, часть I. М., УНЦ ДО, 2003
3. И.В. Ракобольская, Н.Н. Калмыков, С.И. Свертилов Введение в физику космических лучей, часть II. М., УНЦ ДО, 2003
4. Е.А. Мурзина. Взаимодействие излучения высокой энергии с веществом. Учебное пособие. Издательство КДУ, 2007 г., 97 стр.
5. М.И. Панасюк и др. Радиационные условия в космическом пространстве: Учебное пособие. НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына; МГУ им. М.В. Ломоносова; М., Библион-Русская книга, 2006. - 132с.
6. И.М. Капитонов. Введение в физику атомного ядра и частиц. М., УРСС, 2004, 383 с.
7. В.С. Мурзин. Астрофизика космических лучей. Учебное пособие. М., Издательство "Логос", 2007 г., 485 с.
8. Л.И. Мирошниченко. Физика Солнца и солнечно-земных связей. Под ред. М.И. Панасюка. Учебное пособие. – М., Университетская книга, 2011 г.
9. И.С. Веселовский, А.П. Кропоткин. Физика межпланетного и околоземного пространства. - М, Университетская книга, 2010 г. 116 с.
10. Л.И. Сарычева. Физика фундаментальных взаимодействий. М., КДУ, 2008.-220с.
11. Физика космоса. Маленькая Энциклопедия. Р.А. Сюняев гл. редактор. - М, "Советская энциклопедия", 1986 год. 782 стр.

Дополнительная литература

1. С. Хаякава. Физика космических лучей, ч.1,2. М.: Изд.Мир,1974
2. В.Л. Гинзбург. Астрофизика космических лучей. М.: Наука, 1989.
3. Цикл лекций по проблемам физики космических лучей высоких и сверхвысоких энергий. М.: Изд.МГУ, 2001.
4. В.Л. Гинзбург, В.С. Птускин Астрофизика космических лучей. М.: Знание,1982;
5. М.В. Сажин. Современная космология, М. 2002 г.
6. М. Лонгейр. Астрофизика высоких энергий. М."Мир",1984,329-346

Периодическая литература

1. В.Л. Гинзбург. Астрофизика космических лучей (история и общий обзор), *УФН*, **166**, №2, 169–183 (1996).
2. В.Л. Гинзбург. Астрофизика космических лучей (история и общий обзор), *УФН*, **171**, №10, 1107–11-21 (2001).
3. В.Л. Гинзбург, В.С. Птускин. О происхождении космических лучей (Некоторые вопросы астрофизики высоких энергий)" *УФН* **117** 585–636 (1975).