

Астрофизика высоких энергий

Лектор: д.ф.-м.н., профессор Постнов Константин Александрович
(кафедра астрофизики и звёздной астрономии физического факультета МГУ)

Код курса:	
Статус:	По выбору
Аудитория:	Специальный
Семестр:	10
Трудоёмкость:	2 з.е.
Лекций:	32 часа
Семинаров:	
Практ. занятий:	
Отчётность:	Экзамен/зачет (по выбору слушателя)
Начальные компетенции:	С-ОНК-1, С-ОНК-4, С-ОНК-5, С-ОНК-6
Приобретаемые компетенции:	С-СК-3, С-ИК-3, С-ПК-1, С-ПК-2, С-ПК-4

Аннотация курса

Вводный курс в астрофизику высоких энергий, изучающую процессы формирования тепловых и нетепловых спектров в высокотемпературной и релятивистской плазме в реальных космических источниках (в горячей газе в скоплениях галактик, вокруг релятивистских объектов – нейтронных звёзд и чёрных дыр в тесных двойных системах, в пульсарах и в ядрах активных галактик и квазарах и т.д.). В первой части курса систематически рассматриваются синхротронное излучение, комптоновское рассеяние, многократное комптоновское рассеяние, ускорение и формирование нетепловых спектров релятивистских заряженных частиц. Во второй части обсуждается приложение изученных физических механизмов к пульсарам и ядрам галактик (электродинамика пульсаров, формирование синхрокомптоновских спектров в квазарах, механизмы активности галактических ядер, в т.ч. механизм Блэндрфорда-Знаека, а также космические гамма-всплески).

Образовательные технологии

Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь с другими частями ООП

Данный курс входит в число спецкурсов, составляющих теоретическую основу специализации “астрофизика и звёздная астрономия”, а также может служить базой для других астрономических курсов, в которых изучаются космические источники в радио, рентгеновском и гамма-диапазоне электромагнитного спектра.

Дисциплины и практики, для которых освоение данного курса необходимо как предшествующего

Курс теоретической физики в объёме, предусмотренном учебным планом. Курс общей астрофизики и теоретической астрофизики.

Основные учебные пособия, обеспечивающие курс

Научно-исследовательская работа по дисциплинам специализации “астрофизика и звёздная астрономия”.

1. М. Лонгейр «Астрофизика высоких энергий», М.: Мир, 1985
2. J. Rybicki, A. Lightman “Radiative Processes in Astrophysics”, Wiley and sons, 1979
3. В.В. Соболев «Курс теоретической астрофизики» (Изд. 3е), М.:Наука, 1985
4. А.В. Засов, К.А. Постнов «Общая астрофизика» (2е изд), Фрязино: Век-2, 2011
5. В.С. Бескин «Осесимметричные стационарные течения в астрофизике» М.: Физматлит, 2006

Основные учебно-методические работы, обеспе-

читающие курс

Основные научные статьи, обеспечивающие курс

1. А.А. Вихлинин, А.В. Кравцов, М.Л. Маркевич, Р.А. Сюняев, Е.М. Чуразов «[Скопления галактик](#)» УФН **184** 339–366 (2014)
2. А.М. Черепашук «[Чёрные дыры в двойных звёздных системах и ядрах галактик](#)» УФН **184** 387–407 (2014)
3. Я.Б. Зельдович «[Взаимодействие свободных электронов с электромагнитным излучением](#)» УФН **115** 161–197 (1975)
4. М.С. Лонгейр, Р.А. Сюняев «[Электромагнитное излучение во Вселенной](#)» УФН **105** 41–96 (1971)
5. Е.М. Чуразов, Р.А. Сюняев и др. «[Аннигиляционное излучение центральной зоны Галактики: результаты обсерватории ИНТЕГРАЛ](#)» УФН **176** 334–339 (2006)
6. Begelman M.C., Blandford R., Rees M.J. Theory of extragalactic radio sources. Rev. Mod. Phys. 56, 255 (1984).

Контроль успеваемости

Промежуточная аттестация проводится на 8 неделе в форме коллоквиума с оценкой. Критерии формирования оценки – уровень знаний прочитанной части курса.

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, а также уровень подготовки к лекциям и степень освоения материала прочитанной части курса.

Программа курса по неделям освоения

1. Классическая теория излучения. Излучение ускоренно движущегося заряда. Потенциалы Лиенара-Вихерда. Волновая зона. Формула Лармора для дипольного излучения. Поляризация излучения.
2. Релятивистская кинематика. Преобразования Лоренца. Преобразования скоростей. Релятивистская аберрация. Преобразование величин, относящихся к излучению (мощность в единичный телесный угол, интенсивность, яркостная температура, поток излучения (для степенного спектра), коэффициенты излучения и поглощения). Релятивистские инварианты.
3. Релятивистское обобщение формулы Лармора. Синхротронное излучение одного электрона. Полные потери энергии. Спектр СИ для одного электрона и для степенного распределения электронов по энергиям. Поляризация синхротронного излучения. Квантовые эффекты. Излучение кривизны.
4. Томсоновское рассеяние. Дифференциальное и полное сечения, поляризация. Формула Комптона. Обратное комптоновское рассеяние в томсоновском приближении. Потери энергии одного электрона при комптоновском рассеянии.
5. Синхротронное самопоглощение. Зависимость функции источника от частоты и магнитного поля в рэлей-джинсовском пределе. Формула Слыша. Комптоновская катастрофа и предел яркостной температуры компактных радиоисточников. Оценка Лоренц-фактора джетов в блазарах по яркостной температуре.

6. Адронные процессы. Электромагнитные каскады. Черенковское излучение релятивистских частиц. Потери энергии заряженных частиц при распространении в межгалактической среде. Эффект Грйзена-Зацепина-Кузьмина. Проблема генерации космических лучей сверхвысоких энергий.
7. Формирование спектров астрофизических источников. Уравнение Фоккера-Планка. Примеры формирования стационарных спектров синхротронных источников. Синхротрон-комптоновские спектры оптически тонких источников.
8. Формирование степенных спектров заряженных частиц. Механизм Ферми 1 и 2 рода. Универсальный показатель спектра для случая сильной ударной волны.
9. Многократное комптоновское рассеяние. Параметр комптонизации u и его физический смысл. Формирование степенного спектра в оптически тонких источниках.
10. Уравнение Компанейца, основные идеи вывода из кинетического уравнения Больцмана, границы применимости. Примеры аналитических решений. Ненасыщенная и насыщенная комптонизация.
11. Примеры комптонизации в астрофизической плазме. Модифицированный чернотельный спектр тепловой плазмы с учетом рассеяния. Эффект Сюняева-Зельдовича для реликтового излучения.
12. Сечения электромагнитных процессов в КЭД. Рождение и аннигиляция пар. Параметр компактности астрофизических источников и его физический смысл. Параметр компактности гамма-всплесков. Горизонт видимости высокоэнергичных фотонов во Вселенной.
13. Электродинамика пульсаров. Основные уравнения и решение для бессиловой магнитосферы. Современные представления о потерях энергии вращения нейтронных звёзд в пульсарах и наблюдательная проверка.
14. Активные ядра галактик и квазаров. Основные наблюдаемые характеристики и феноменологические зависимости. Физические механизмы активности. Механизм Блэндфорда-Знаека. Наблюдательные проверки.
15. Космические гамма-всплески. Основные феноменологические данные. Методы наблюдений. Проблема компактности и необходимость релятивистского течения. Основные физические модели.
16. Послесвечения космических гамма-всплесков. Релятивистские ударные волны. Седовская длина, её релятивистское обобщение. Синхротронная модель послесвечений и её наблюдательная проверка. Астрофизика гамма-всплесков. Связь с эволюцией массивных звёзд. Космологические приложения.