

Обзор: активные галактики и квазары

Самые яркие объекты Вселенной, движение их энергии связано со сверхмассивными чёрными дырами.



История открытия и первые наблюдения квазаров

В 1960-х годах квазары впервые зарегистрировали как необычные радиоисточники с высокими красными смещениями. Спектроскопия вскрыла их необычайную удалённость и мощнейшую светимость, открыв новый класс космических объектов.

Определение активных галактик

Активные галактики – это системы с яркими ядрами, чья светимость превосходит звёздное излучение всей галактики в разы. Эти ядра сильны на всём электромагнитном спектре, включая рентген и радиодиапазон.

Источником энергии является сверхмассивная чёрная дыра, активно аккрецирующая вещество и преобразующая массу в излучение, делая ядро галактики необычайно ярким.

Что такое квазар — яркие маяки Вселенной

Определение квазара

Квазар — это активное ядро галактики с экстремальной светимостью, превосходящей свечение миллиардов звёзд. Он виден на огромных расстояниях, служа индикатором ранних этапов развития Вселенной.



Роль квазаров в космологии

Квазары позволяют исследовать межгалактическую среду и структуру космоса благодаря их яркому и разнообразному спектру. Их изучение раскрывает эволюцию галактик и рост сверхмассивных чёрных дыр.



Сравнение светимости квазаров и галактик

Данные Sloan Digital Sky Survey показывают, что некоторые квазары светят ярче Млечного Пути на тысячи раз.

Квазары значительно превосходят по светимости обычные галактики, подчеркивая их мощь и уникальность.



Sloan Digital Sky Survey, 2020

Строение активного ядра галактики

В центре активной галактики располагается сверхмассивная чёрная дыра с массой до нескольких миллиардов солнечных. Она окружена аккреционным диском из раскалённого газа, активно поглощающего материю.

Из чёрной дыры вдоль оси вращения выбрасываются мощные релятивистские джеты, окружённые тороидом из пыли и газа, который частично скрывает центральное излучение.

10%

**от массы вещества
преобразуется в энергию
при аккреции на чёрную
дыру.**

Этот показатель эффективности значительно выше, чем при ядерных реакциях, что объясняет огромную светимость активных ядер.

Астрономические обзоры, 2022

Физические механизмы генерации энергии

Аккреция вещества на сверхмассивную чёрную дыру приводит к гравитационному сжатию и нагреву, высвобождая огромные объёмы энергии.

Внутри аккреционного диска происходят интенсивные столкновения частиц, способствующие дополнительному нагреву и ионизации газа.

Магнитные поля создают условия для ускорения частиц и формирования коллимированных джетов, способных распространяться на большие расстояния.

Релятивистские эффекты усиливают излучение, преобразуя внутреннюю энергию в электромагнитное излучение и кинетическую энергию струй.

Джеты и их роль в эволюции галактик

Структура и масштаб джетов

Джеты — это узконаправленные потоки плазмы, исходящие перпендикулярно аккреционному диску и достигающие миллионов световых лет. Они несут значительную кинетическую энергию и выступают в роли транспорта веществ и энергии.

Влияние джетов на окружающую среду

При взаимодействии с межгалактической средой джеты формируют радиолобы, изменяют газовую динамику и химический состав, что влияет на последующую эволюцию галактик и крупномасштабной структуры.

Сейфертовские галактики и их отличие от квазаров

Сейфертовские галактики — это относительно близкие объекты с активными ядрами, которые значительно менее светлы, чем квазары, но демонстрируют яркие спектральные эмиссионные линии, характерные для их центральных областей.

В отличие от квазаров, свет от ядер сейфертовских галактик частично перекрывается звёздным свечением самой галактики, что усложняет наблюдение их активности и изучение структуры ядра.

Темпы аккреции вещества на сверхмассивную чёрную дыру в сейфертовских галактиках ниже, что отражается в более умеренной светимости и активности по сравнению с мощными квазарами.

Радиогалактики и блазары

Радиогалактики: мощь и масштаб

Радиогалактики выделяются интенсивным радиоизлучением, исходящим от огромных джетов, распространяющихся далеко за пределы галактического ядра. Эти джеты создают массивные радиолобы, которые влияют на окружающую межгалактическую среду, формируя структуры на сотни тысяч световых лет.



Блазары — яркие и непредсказуемые

Блазары характеризуются сильной переменностью излучения и высокой степенью поляризации, что вызвано ориентацией их джета практически вдоль линии зрения наблюдателя. Это направление приводит к эффектам доплеровского усиления, делая их одними из самых ярких и динамичных активных ядер.



Сравнительная таблица характеристик активных галактик

Объект	Светимость (L _☉)	Среднее расстояние (Мпк)	Наличие и длина джетов	Особенности спектра
Квazar	~10 ¹⁴	до 3000	Часто, до миллионов световых лет	Сильное ультрафиолетовое и рентгеновское излучение
Радиогалактика	~10 ¹²	около 1000	Явные, достигают сотен тысяч световых лет	Мощные радиоэмиссии и широкие линии
Сейфертовская галактика	~10 ¹⁰	до 100	Слабые или отсутствуют	Яркие оптические эмиссионные линии

В таблице представлены ключевые свойства трёх типов активных галактик — квазаров, радиогалактик и сейфертовских галактик, включая светимость, расстояния, наличие джетов и особенности их спектров.

Квазары — наиболее яркие и удалённые активные ядра, радиогалактики выделяются масштабными джетами, сейфертовские галактики демонстрируют умеренную активность с яркими спектральными линиями.

Методы наблюдения активных ядер галактик



Радиотелескопы

Используются для изучения джетов и радиоизлучения активных ядер с помощью инструментов, таких как «Радиоастрон» и VLA, обеспечивая детальные данные о структуре радиоисточников.



Оптические и инфракрасные обсерватории

Телескопы Hubble и JWST позволяют получать изображение и спектры активных ядер, раскрывая внутреннюю структуру и процессы в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах.



Рентгеновские обсерватории

Chandra и XMM-Newton регистрируют высокоэнергетическое излучение аккреционных дисков и джетов, помогая анализировать экстремальные физические условия в ядрах галактик.



Гамма-обсерватории и интерферометрия

Обсерватории Fermi фиксируют гамма-излучение, а техника интерферометрии (VLBI/EVN) обеспечивает высокое угловое разрешение, что критично для изучения мельчайших структур активных ядер.

Излучение квазаров и электромагнитный спектр

1. Квазары испускают широкий спектр электромагнитного излучения — от гамма-лучей до радиоволн. Наибольшая интенсивность приходится на ультрафиолетовый и рентгеновский диапазоны, отражая высокотемпературные процессы в аккреционном диске.
2. Излучение квазаров сильно переменное: наблюдаются как кратковременные всплески мощностей, так и длительные циклы изменения яркости, что связано с динамикой аккреции и активностью джетов в ядре.

Процесс образования квазара

По данным современных астрономических исследований



Космологическое значение квазаров

Квазары представляют собой мощные маяки ранней вселенной, позволяя анализировать межгалактическую среду через изучение линий поглощения в их спектрах, включая так называемый Ly-альфа лес.

Исследование распределения квазаров помогает выявлять огромные масштабные структуры Вселенной, усиливая понимание формирования галактик и тёмной материи на больших масштабах.

Благодаря высокой светимости и удалённости квазаров, они служат уникальными инструментами для изучения космологической эволюции и свойств Вселенной на ранних этапах её развития.

Известные квазары и исторические открытия

3C 273 — первый открытый квазар

Этот объект в созвездии Девы располагается на расстоянии около 2,4 миллиарда световых лет. Открытие 3C 273 стало прорывом, подтвердившим существование сверхмассивных чёрных дыр в активных ядрах галактик.



3C 48 — ранний спектроскопический прорыв

Один из первых квазаров, спектр которого позволил определить высокое красное смещение. Это открытие подтвердило огромное расстояние и энергоёмкость подобных объектов в удалённой части Вселенной.



QSO J0313-1806 — рекорд по красному смещению

Этот квазар с красным смещением около 7.6 доказывает наличие сверхмассивных чёрных дыр уже через 700 миллионов лет после Большого взрыва, что ставит важные вопросы о скоростях их формирования.



Актуальные проблемы и открытые вопросы астрофизики активных ядер

Механизм выключения активности сверхмассивных чёрных дыр и перехода активных галактик в пассивные состояния остаётся слабо изученным и требует дальнейших наблюдательных данных.

Происхождение сверхмассивных чёрных дыр в ранней Вселенной вызывает вопросы, связанные с природой их быстрого роста и условий формирования в первые сотни миллионов лет после Большого взрыва.

Влияние активных ядер на эволюцию и формирование структур окружающих галактик требует моделирования и анализа взаимодействия джетов с межгалактической средой.

Определение точной природы блазаров и объяснение наблюдаемой переменности и поляризации излучения остаётся сложной задачей, затрагивающей вопросы релятивистской физики.

Значение изучения активных галактик и квазаров

Изучение активных галактик и квазаров раскрывает фундаментальные процессы, связанные с чёрными дырами и высокоэнергетическими явлениями, расширяя понимание эволюции Вселенной и формирования её структуры на ранних этапах.