

БОРИС КРИГЕР

ТАЙНЫ
КВАЗАРОВ



БОРИС КРИГЕР

ТАЙНЫ КВАЗАРОВ
*ПАРАДОКСЫ САМЫХ
ЯРКИХ ОБЪЕКТОВ ВО
ВСЕЛЕННОЙ*



© 2024 Boris Kriger

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means electronic or mechanical, including photocopy, recording, or any information storage and retrieval system, without permission in writing from both the copyright owner and the publisher.

Requests for permission to make copies of any part of this work should be e-mailed to kriegerbruce@gmail.com

Published in Canada by Altaspera Publishing & Literary Agency Inc.

Тайны квазаров Парадоксы самых ярких объектов во Вселенной

Книга представляет собой увлекательное исследование квазаров — самых ярких объектов во Вселенной, проливающее свет на их физическую природу, роль в эволюции галактик и значимость для понимания космической истории. Квазары, будучи активными галактическими ядрами, питаемыми сверхмассивными черными дырами, раскрывают механизмы аккреции материи и энергии, преобразующей гравитационное воздействие в ослепительное излучение. Особое внимание уделяется роли квазаров в ранней Вселенной, их вкладу в процессы реионизации и формирование структур на больших космических масштабах. Исследуются также их физические характеристики, такие как джеты, релятивистская фокусировка и магнитные поля, формирующие уникальную мощь этих объектов.

Автор сочетает теоретический анализ с последними данными мультиволновой астрономии, включая спектральные исследования и эффекты гравитационного линзирования, которые помогают понять распределение темной материи и эволюцию межгалактической среды. В книге рассматриваются вопросы, связанные с угасанием активности квазаров, их циклической природой и возможным сценарием их возрождения при будущих столкновениях галактик. Квазары представлены как своеобразные "хроники" Вселенной, несущие свет из далеких эпох, чтобы ответить на фундаментальные вопросы о природе времени, материи и энергии.

ТАЙНЫ КВАЗАРОВ

ПАРАДОКСЫ САМЫХ ЯРКИХ ОБЪЕКТОВ ВО ВСЕЛЕННОЙ

Вселенная - как величественно звучит это слово, облечённое в тайну и непостижимую мощь! Квазары эти далекие, ярчайшие маяки Вселенной переносят нас в её бурную юность, когда космос был ещё молод, а звёзды и галактики только начинали свой танец формирования. Подобно слепящим огням, они пронзают тьму времени, рассказывая нам истории, недоступные для иных свидетелей. Квазары — это не просто астрономические явления, но воплощение самой сути космического хаоса и порядка, где неистовство материи переплетается с законами физики. Их существование напоминает о том, как во Вселенной, полном противоречий, рождается удивительная гармония.

Изучая квазары, учёные проникают в глубины прошлого, освещённого их невероятным излучением. Эти объекты рассказывают о сверхмассивных чёрных дырах, поглощающих материю и высвобождающих энергию в количествах, которые бросают вызов нашему воображению. Взглянув на квазары, мы словно заглядываем в книгу Вселенной, страницы которой написаны светом, прошедшим миллиарды лет. Однако, как и всё великое, они таят множество вопросов: как такому маленькому объекту удаётся выделять столько энергии? Почему их активность была столь высокой в ранние эпохи? И какую роль они играли в формировании галактик?

Квазары — это не просто объекты наблюдения. Это символ человеческого стремления к познанию, к

разгадыванию тех тайн, что окружают нас со времён зарождения самой мысли о космосе. В их свете мы ищем ответы на самые фундаментальные вопросы о природе бытия, эволюции галактик и судьбе Вселенной.

Иерархия объектов во Вселенной начинается с космической пыли — мельчайших частиц, образующихся при взрывах звёзд и процессах в их атмосферах. Из пыли и газа формируются более крупные тела, такие как астероиды, — каменные и металлические остатки ранней Солнечной системы. Астероиды могут объединяться, образуя планеты — массивные объекты, достаточно крупные, чтобы под действием собственной гравитации принимать сферическую форму. Планеты вращаются вокруг звёзд, которые, в свою очередь, представляют собой огромные плазменные шары, поддерживающие термоядерный синтез. Звёзды иногда завершают свой жизненный цикл, превращаясь в чёрные дыры звёздной массы — сверхплотные объекты с гравитацией, из которой не может вырваться даже свет. Гигантские чёрные дыры, во много миллионов, а иногда и миллиардов, раз превышающие массу Солнца, обитают в центрах галактик — огромных систем, содержащих миллиарды звёзд, газа, пыли и тёмной материи. На вершине этой иерархии находятся квазары — активные ядра галактик, с гигантскими чёрными дырами в центре и излучающие колоссальные потоки энергии, видимые на расстояниях в миллиарды световых лет.

Квазары — это уникальные объекты, сочетающие в себе удивительную яркость, мощь и тайну. Являясь одними из самых ярких явлений во Вселенной, они олицетворяют бурный период её молодости, когда галактики активно формировались, сталкивались и

росли, подпитывая сверхмассивные чёрные дыры в своих центрах. Эти загадочные источники света и энергии остаются важным ключом к пониманию сложных процессов, происходящих в космосе, начиная с первых миллиардов лет после Большого взрыва.

Излучение квазаров превосходит светимость целых галактик, но их источник заключён в области, сравнимой по размерам с нашей Солнечной системой. Этот парадокс привёл к глубокому изучению механизмов аккреции, влияния магнитных полей и роли гравитации, которые вместе создают столь мощные и устойчивые феномены. Однако квазары — это не только физический феномен, но и "историки" Вселенной, несущие свет, прошедший через миллиарды лет космической эволюции и сохраняющий информацию о межгалактической среде, химическом составе и процессах формирования галактик.

Вместе с тем квазары вызывают множество вопросов. Как столь компактные объекты могут генерировать такую энергию? Почему их пик активности пришёлся на раннюю Вселенную? Как слияние галактик и эволюция межгалактической среды влияют на их формирование и угасание? Эти и многие другие аспекты делают квазары не только объектом восхищения, но и важной областью научных исследований, проливающих свет на самые фундаментальные законы природы.

В начале 1960-х годов астрономическое сообщество столкнулось с неожиданной загадкой, ставшей прорывом в изучении Вселенной. В ходе радиоастрономических наблюдений были обнаружены мощные радиоисточники, чья природа на первых порах

оставалась необъясненной. Эти объекты, названные впоследствии квазарами, отличались необычайной яркостью и малым угловым размером, что делало их внешне похожими на звезды. Однако последующие исследования вскрыли их истинную сущность, кардинально изменив представление о космосе.

Название "квазар" было введено, как производное от английского выражения "quasi-stellar radio source" - «квази звездный источник радио излучения», что указывало на их схожесть со звездами. Тем не менее, наблюдения в различных диапазонах спектра, в том числе в оптическом, выявили, что эти объекты обладают совершенно иными свойствами. Спектральный анализ показал, что излучение квазаров содержит линии, сильно смещённые в красную область спектра. Это смещение свидетельствовало о том, что они находятся на огромных космологических расстояниях, что означало их принадлежность к ранним этапам формирования Вселенной.

Связь квазаров с активными галактическими ядрами стала ключом к разгадке их природы. Было установлено, что их мощное излучение генерируется благодаря активным процессам в окрестностях сверхмассивных черных дыр, расположенных в центрах галактик. Эти черные дыры, поглощая окружающее вещество, создают аккреционные диски, разогревающиеся до невероятно высоких температур. Именно эта энергия и порождает ослепительное свечение, которое делает квазары видимыми на огромных расстояниях, превращая их в ярчайшие маяки, указывающие на далекое прошлое космической эволюции.

Исследования первых квазаров стали отправной точкой

для более глубокого изучения процессов, происходящих в активных галактиках. Каждый новый факт, связанный с их природой, открывал перед учеными всё более сложную картину ранней Вселенной, где квазары играли одну из ключевых ролей.

Основой феноменального излучения квазаров является процесс аккреции газа на сверхмассивную черную дыру, которая скрывается в центре активной галактики. Вещество, захватываемое гравитацией этого объекта, постепенно формирует аккреционный диск, вращающийся с огромной скоростью. При этом гравитационные силы и трение между частицами газа приводят к выделению колоссального количества энергии. Этот процесс сопровождается преобразованием материи в излучение, которое выходит за пределы диска в виде света, тепла и радиоволн.

Материя не падает прямо, а закручивается вокруг чёрной дыры, формируя аккреционный диск. Движение вещества в диске сопровождается огромным трением между частицами, особенно ближе к центру, где силы гравитации сильнее.

Трение разогревает вещество до очень высоких температур — миллионы градусов. На таких температурах материя начинает излучать свет, тепло и другие виды энергии, например рентгеновские лучи и радиоволны. Чем ближе газ к чёрной дыре, тем выше его скорость и температура, а значит, тем больше энергии выделяется.

Большая часть этой энергии уходит в виде излучения, которое выходит за пределы диска. Мы видим его как яркий свет квазара, который может быть виден даже из других галактик. Фактически, это энергия гравитации,

преобразованная в свет и тепло.

Квазары светят ярче, чем звёзды, благодаря тому, что их энергия выделяется за счёт гравитации, а не термоядерных реакций. Гравитационная энергия вещества, падающего на сверхмассивную чёрную дыру, преобразуется в свет с гораздо большей эффективностью. Если в звёздах термоядерный синтез превращает около 0,7% массы вещества в энергию, то в аккреционных дисках квазаров этот показатель достигает более 10 %. Это делает процесс в десятки раз более результативным. Более мощным во Вселенной является только взаимное уничтожение вещества и антивещества, где практически сто процентов массы превращается в энергию.

Сверхмассивные чёрные дыры, находящиеся в центре квазаров, обладают массами в миллионы или даже миллиарды солнечных. Их огромная гравитация притягивает гигантские объёмы материи, создавая аккреционные диски, где газ разогревается до миллионов градусов из-за трения и гравитационного сжатия. Такие температуры вызывают излучение не только видимого света, но и рентгеновских и ультрафиолетовых лучей, что значительно увеличивает яркость.

Кроме того, масштабы акреции в квазарах впечатляют: они могут "поглощать" несколько солнечных масс материи за год. Для сравнения, звезда, подобная Солнцу, медленно выделяет энергию, стабильно сжигая водород в течении десяти миллиардов лет. В аккреционных дисках же поступление материи происходит гораздо быстрее, что создаёт взрывную яркость. К тому же излучение аккреционного диска может быть направлено

в определённые стороны, особенно если джеты квазара ориентированы на Землю. Это усиливает яркость за счёт релятивистской фокусировки.

Очевидным образом, гравитационная энергия, выделяемая при акреции, многократно превосходит энергию термоядерного синтеза, что делает квазары одними из самых мощных источников света во Вселенной.

Сверхновые и квазары — оба представляют собой невероятно яркие космические явления, но их яркость и природа существенно отличаются.

Сверхновая — это мощный взрыв умирающей звезды, при котором за короткое время выделяется огромное количество энергии. На пике своей яркости сверхновая может затмить всю галактику, в которой она находится, но это явление очень кратковременно, длится всего несколько недель или месяцев. В этот период мощность излучения сверхновой достигает колоссальных значений, делая её одним из самых ярких объектов на небе.

Квазары, в свою очередь, светят ярче в долгосрочной перспективе. Они питаются за счёт постоянного притока материи к сверхмассивной чёрной дыре, и их светимость может превышать светимость сотен или даже тысяч галактик. Хотя пиковая яркость сверхновой в момент взрыва может сравняться с яркостью квазара, квазар удерживает свою яркость на протяжении миллионов или даже миллиардов лет.

Не менее впечатляющим проявлением активности квазаров становятся джеты — узкие релятивистские струи заряженных частиц, выбрасываемые с огромной

скоростью из полюсов черной дыры. Релятивистские — это термин, относящийся к явлениям или объектам, которые подчиняются законам специальной теории относительности Альберта Эйнштейна. Эти явления становятся важными, когда скорость объектов приближается к скорости света или в условиях сильных гравитационных полей.

Джеты квазаров формируются благодаря сложному взаимодействию магнитных полей, окружающих черную дыру, и аккреционного диска. Заряженные частицы в джетах движутся практически со скоростью света, что делает их яркость чрезвычайно высокой. Джеты пронзают космическое пространство на многие световые годы, оставаясь видимыми даже на гигантских расстояниях.

Релятивистские эффекты, сопровождающие движение частиц в джетах, придают этим струям удивительные свойства. Энергия, заключённая в них, распространяется в форме радиоволн, рентгеновского и гамма-излучения, что делает квазары заметными в самых разных частях электромагнитного спектра. Часто джеты оказывают воздействие на окружающую межгалактическую среду, разогревая её и формируя характерные структуры, наблюдаемые при изучении далёких галактик.

Именно аккреционные процессы и релятивистские джеты определяют невероятную энергоэффективность квазаров. За счёт взаимодействия материи и экстремальных физических условий они становятся мощнейшими двигателями эволюции галактик, подсвечивая наиболее ранние этапы формирования космических структур. Эти явления остаются одними из самых ярких примеров того, как враждебные силы

Вселенной рождают феномены поразительной красоты и величия.

Квазары по праву считаются одними из самых важных инструментов для изучения структуры и истории Вселенной. Их удивительная яркость позволяет фиксировать свет объектов, находящихся на расстояниях в миллиарды световых лет, что делает их своеобразными "маяками", освещдающими путь в прошлое космической эволюции. Поскольку свет квазаров проходит через межгалактическую среду, он неизбежно взаимодействует с веществом, находящимся на его пути. Эти взаимодействия оставляют уникальные отпечатки в спектре излучения, которые становятся источником бесценных данных о составе, температуре и плотности газа между галактиками.

Анализируя такие спектральные линии, ученые получают возможность изучать так называемые "лес Лайман-альфа" — многократное повторение абсорбционной линии Лайман-альфа в спектрах далеких астрономических объектов - длинные цепочки поглощения, вызванные облаками водорода на различных расстояниях от Земли. Эти наблюдения позволяют реконструировать, как менялась структура Вселенной с течением времени, начиная от первых миллиардов лет после предполагаемого Большого взрыва, который как считается положил начало нашей Вселенной. Более того, яркость квазаров дает возможность исследовать динамику гипотетической темной материи и процессы формирования галактик.

Теоретики утверждают, что самые удалённые квазары, обнаруженные на сегодняшний день, представляют собой яркие свидетельства событий, произошедших

менее чем через миллиард лет после Большого взрыва. Они хранят ключ к разгадке того, как такие массивные структуры могли сформироваться в столь раннюю эпоху. Эти квазары показывают, что сверхмассивные черные дыры, масса которых достигает миллиардов масс Солнца, успели образоваться за сравнительно короткий промежуток времени. Однако механизм столь быстрого роста до сих пор вызывает ожесточённые споры в научном сообществе.

Одна из гипотез предполагает, что процесс формирования черных дыр в ранней Вселенной мог начаться с коллапса массивных облаков газа, минуя стадии звездообразования. Это позволило бы чёрным дырам изначально обладать значительной массой, способствуя их дальнейшему стремительному росту. Другая теория предполагает, что окружающая среда в ранней Вселенной была чрезвычайно плотной, что обеспечивало постоянный и быстрый приток материи к черным дырам. Исследования этих объектов продолжаются, так как каждый новый факт помогает уточнить модели эволюции как самих квазаров, так и окружающей их космической среды.

Квазары, расположенные на самых дальних рубежах наблюдаемой Вселенной, являются не только свидетелями первых этапов космической истории, но и ключом к пониманию природы Вселенной. Они продолжают вдохновлять ученых на поиск ответов на фундаментальные вопросы, соединяя прошлое с настоящим в масштабах, которые поражают воображение.

Активные ядра галактик, включая квазары, представляют собой разнообразные проявления одного и

того же фундаментального процесса: акреции вещества на сверхмассивные черные дыры. Помимо квазаров, которые являются наиболее яркими и удалёнными представителями, существуют и другие типы активных галактических ядер. Сейфертовские галактики, например, отличаются более скромной яркостью и расположены, как правило, ближе, что делает их удобными для детального изучения. Радиогалактики знамениты своими протяжёнными радиоструями, достигающими сотен тысяч световых лет, а блазары выделяются экстремальной яркостью из-за того, что их джеты направлены практически прямо на Землю. Различия между этими объектами объясняются, прежде всего, ориентацией джетов, уровнем акреции и особенностями окружающей среды.

Наблюдения за квазарами предоставляют уникальную возможность заглянуть в распределение гипотетической темной материи, которая как считают теоретики должна составлять значительную часть массы Вселенной, но остаётся невидимой. Одним из ключевых инструментов изучения её структуры является явление гравитационного линзирования, когда свет от далёкого квазара изгибается под действием гравитации массивных объектов на его пути. Это создаёт эффект, при котором изображение квазара разделяется на несколько компонентов или растягивается в кольца. Анализ этих искажений позволяет исследовать, как распределена тёмная материя в галактиках и скоплениях, через которые проходит свет.

Не менее значителен эффект квазаров на окружающую их галактическую среду. Их колоссальное излучение оказывает сильное воздействие на газ, окружающий

ядро. Мощные потоки энергии и вещества, выбрасываемые квазарами, могут разогревать газ, препятствуя звездообразованию, так как горячий газ не может эффективно сжиматься в плотные облака, необходимые для формирования новых звёзд. Этот процесс, известный как AGN-фидбэк, играет ключевую роль в регулировании роста галактик. Однако излучение квазаров не всегда подавляет звездообразование — в некоторых случаях оно способствует сжатию газа в удалённых областях, стимулируя рождение новых звёзд.

Квазары существуют лишь в течение относительно короткого периода времени по космическим меркам, продолжительность их активной фазы составляет от нескольких миллионов до десятков миллионов лет. После того как аккрецирующее вещество в окрестностях черной дыры исчерпывается или потоки энергии разрушают окружающий газ, квазар затухает. Его галактика постепенно теряет признаки активности, переходя в более спокойное состояние.

В современной Вселенной квазары стали редкостью, так как пик их активности пришёлся на эпоху, когда галактики активно росли, сталкивались и сливались, обеспечивая центральные черные дыры обилием газа для аккреции. Со временем количество доступного газа уменьшилось, а процессы звездообразования и эволюции галактик стали замедляться. Современные квазары представляют собой редкие остатки этой бурной космической эпохи, напоминая о тех временах, когда Вселенная была молода и полна энергичных преобразований.

Исследование спектров квазаров открывает перед астрономами уникальное окно в химический состав и

физические свойства межгалактической среды. Свет, излучаемый этими объектами, проходит через облака газа, находящиеся на огромных расстояниях между галактиками, и несёт отпечатки поглощения веществом, встреченным на пути. Спектральные линии, зарегистрированные в этом процессе, позволяют обнаруживать присутствие различных химических элементов, таких как водород, гелий, углерод, кислород, железо и другие. Эти данные не только свидетельствуют о составе древней Вселенной, но и проливают свет на процессы нуклеосинтеза, которые происходили в первые миллиарды лет после Большого взрыва.

Однако, несмотря на значительные успехи в изучении квазаров, многие аспекты их природы остаются загадочными. Механизм аккреции материи вокруг сверхмассивной чёрной дыры, порождающий столь яркое излучение, всё ещё не до конца понятен. Роль магнитных полей, которые, вероятно, регулируют выброс джетов и распределение энергии в окрестностях черной дыры, требует дальнейшего изучения. Не менее загадочными остаются вариации яркости квазаров, происходящие на самых разных временных масштабах — от нескольких часов до миллионов лет. Эти изменения указывают на сложные процессы, происходящие как в аккреционных дисках, так и в самой окружающей среде.

Технологии наблюдений играют ключевую роль в изучении этих объектов. Наземные телескопы, такие как Very Large Telescope (VLT) и радиообсерватории, позволяют исследовать квазары в различных диапазонах спектра, фиксируя их поведение на малых временных масштабах и изучая детали их структуры. Космические обсерватории, такие как Hubble и James Webb Space

Telescope (JWST), предоставляют возможность заглядывать на экстремально большие расстояния, открывая самые ранние квазары, возникшие в первые миллиарды лет после Большого взрыва. Наблюдения в рентгеновском диапазоне, проводимые с помощью телескопа Chandra, дополняют эту картину, предоставляя данные о высокоэнергетических процессах в аккреционных дисках и джетах.

Особое значение имеет радиоастрономия, которая позволяет исследовать структуры джетов и межгалактическую среду, взаимодействующую с мощными потоками энергии от квазаров. Радиоинтерферометры, такие как система ALMA, фиксируют тончайшие детали, недоступные для оптических телескопов. Совокупность этих методов даёт возможность реконструировать сложные процессы, происходящие на разных расстояниях и временных масштабах, приближая понимание фундаментальной природы этих удивительных объектов.

Квазары остаются неизменным вызовом для науки, продолжая открывать новые горизонты в изучении физики экстремальных условий, эволюции галактик и процессов, формирующих структуру Вселенной.

Если наша галактика Млечный Путь и галактика Андромеды, обе стремительно движущиеся друг к другу, в конечном итоге сольются, последствия для их центральных сверхмассивных черных дыр могут быть поистине грандиозными. Этот процесс обещает преобразовать центр будущей объединённой галактики в мощное активное галактическое ядро, которое потенциально может превратиться в квазар. Подобное событие, несмотря на его редкость, способно пролить

свет на механизмы, определяющие эволюцию крупных галактик.

Слияние начнётся с гравитационных возмущений, которые вызовут колоссальные изменения в структурах обеих галактик. Газовые облака и звёзды, подчиняясь новым силам, начнут перемещаться в сторону центра объединённой системы. В результате этого перемещения в окружение сверхмассивных чёрных дыр устремятся огромные массы газа и пыли. Эти потоки материи будут формировать аккреционные диски вокруг чёрных дыр, разогревающиеся до таких температур, что начнут излучать свет, во много тысяч раз превосходящий яркость всей галактики.

Когда центральные чёрные дыры, расположенные в ядрах Млечного Пути и Андромеды, наконец сблизятся, они образуют двойную систему, которая начнёт излучать гравитационные волны. Со временем они сольются, высвободив колоссальное количество энергии, но к этому моменту приток материи, вызванный слиянием галактик, уже превратит этот регион в активное ядро. Если окружающей материи окажется достаточно, это ядро станет квазаром, сияющим столь ярко, что его свет будет виден на значительном расстоянии, далеко за пределами новой галактики.

Если это и произойдёт, то не ранее чем через несколько миллиардов лет... Для гипотетического наблюдателей в нашей Солнечной системе такое явление будет представлять собой фантастическое зрелище. В центре неба появится источник света, сопоставимый по яркости с полной Луной. Этот объект будет переливаться различными оттенками, так как аккреционный диск испускает излучение во всех диапазонах — от

ультрафиолетового до рентгеновского. Небо над Землёй, особенно вблизи ядра объединённой галактики, будет освещаться огромными потоками энергии, выходящими из центрального региона. Однако такая активность окажется относительно кратковременной, продолжаясь всего несколько миллионов лет.

После того как слияние чёрных дыр завершится, а запасы материи в окрестностях будут исчерпаны, квазар начнёт угасать. Центр новой галактики постепенно успокоится, превращаясь в более типичное галактическое ядро. Тем не менее, этот короткий период активности будет иметь долгосрочные последствия для галактики. Потоки энергии, выброшенные квазаром, нагреют окружающий газ, подавляя звездообразование вблизи ядра, но в то же время могут сжать облака на периферии, стимулируя формирование новых звёзд.

Таким образом, слияние Млечного Пути и Андромеды обещает быть не только грандиозным событием для обеих галактик, но и редким примером превращения тихой звёздной системы в колоссальный космический маяк, озаряющий Вселенную своим светом.

Однако такая красота может скрывать и определённые опасности. Квазары известны своим мощным излучением во всех диапазонах спектра, от радиоволн до гамма-лучей. Хотя основное излучение будет рассеиваться в окружающее пространство, вероятность того, что наша Солнечная система попадёт на прямую линию одного из джетов, остаётся крайне низкой. Тем не менее, в случае такого совпадения радиационное воздействие может повлиять на атмосферу планет и даже представлять угрозу для жизни. Но даже без прямого попадания Земля будет подвергаться усиленному

воздействию высокоэнергетического излучения, исходящего от центра объединённой галактики.

К тому времени, когда Млечный Путь и Андромеда сольются в единую галактику, Земля, скорее всего, уже не будет существовать в привычном виде. Это связано с эволюцией Солнца, которое к этому моменту завершит свою жизнь как звезда главной последовательности. Примерно через 4–5 миллиардов лет, что совпадает со временем предполагаемого слияния галактик, Солнце начнёт исчерпывать запасы водорода в своём ядре.

В результате гравитация начинает сжимать ядро Солнца, и давление на него резко возрастает. Это вызывает нагрев до таких температур, что запускаются новые термоядерные реакции, такие как термоядерная реакция, основанная уже не на водороде, а на гелии. Одновременно радиационное давление начинает раздувать внешние слои звезды, и она переходит в стадию красного гиганта. Здесь так называемый предел Эддингтона играет ключевую роль: радиационное давление предотвращает дальнейшее сжатие звезды и формирует её огромный размер, характерный для красных гигантов.

В конечном итоге, когда гелий и другие элементы, доступные для термоядерного синтеза, будут исчерпаны, Солнце потеряет способность удерживать свои внешние слои. Они будут выброшены в космос, формируя так называемую планетарную туманность, а оставшееся ядро превратится в белый карлик. При этом предел Эддингтона продолжает действовать, ограничивая светимость этого белого карлика и предотвращая его разрушение из-за чрезмерного излучения.

Таким образом, предел Эддингтона объясняет, как в

звезде достигается равновесие между гравитацией, которая стремится сжать её внутрь, и радиационным давлением, создаваемым излучением энергии из её ядра. Этот баланс определяет максимальную светимость звезды: если радиационное давление становится слишком сильным, оно начинает выталкивать вещество наружу, раздувая звезду и ограничивая её дальнейшую яркость. Солнце, как и другие звёзды, в течение большей части своей жизни сохраняет равновесие, но к моменту истощения запасов водорода в его ядре равновесие нарушается.

Предел Эддингтона играет ключевую роль не только в равновесии звезд, но и в аккреционных дисках вокруг чёрных дыр, регулируя количество материи, которое может эффективно аккрецироваться (падать) на чёрную дыру, и, соответственно, максимальную яркость таких систем, как квазары. Этот предел определяет баланс между гравитацией, притягивающей вещество к чёрной дыре, и радиационным давлением, которое выталкивает вещество наружу.

В аккреционных дисках вещество, приближающееся к чёрной дыре, разогревается до экстремальных температур за счёт трения и высвобождает огромное количество энергии в виде излучения. Это излучение создаёт радиационное давление, направленное наружу. Когда светимость системы достигает предела Эддингтона, давление излучения становится достаточно сильным, чтобы уравновесить гравитационное притяжение, предотвращая дальнейшее падение материи на чёрную дыру.

Если светимость превышает предел Эддингтона, радиационное давление может выбрасывать часть

материи из аккреционного диска, замедляя или прекращая аккрецию. Это ограничивает максимальную яркость квазаров и активных галактических ядер. Предел Эддингтона действует как "ограничитель" мощности: система не может постоянно превышать этот уровень, поскольку избыточное давление выталкивает вещество, уменьшая аккрецию.

Однако существуют исключения. В экстремальных условиях, например, в случаях, когда вещество падает на чёрную дыру быстрее, чем успевает выделить энергию, светимость может временно превышать предел Эддингтона. Это называется **сверхэддингтоновской аккрецией**. Такие явления наблюдаются в ультраярких рентгеновских источниках (ULX) и в некоторых квазарах, где излучение становится мощнее, чем теоретически предсказывается этим пределом.

В целом, предел Эддингтона играет ключевую роль в регулировании процессов в аккреционных дисках. Он определяет максимальную светимость системы, стабилизирует аккрецию и формирует границы, в которых квазары и другие яркие источники излучения могут существовать.

Вернемся к эволюции нашего Солнца. На стадии раздутия в Красный гигант его внешний слой сильно увеличится, возможно, поглотив ближайшие планеты, такие как Меркурий и Венера, а температура на Земле станет невыносимо высокой. Вода на планете испарится, а атмосфера будет разрушена. Даже если Земля не будет физически уничтожена, она превратится в

безжизненную пустыню, неспособную поддерживать какую-либо форму жизни. После фазы красного гиганта Солнце сбросит свои внешние оболочки, а его ядро станет белым карликом — слабым и тусклым остатком звезды. В результате, к моменту слияния галактик жизнь на Земле либо исчезнет, либо мигрирует в другие части космоса, если к тому времени человечество сможет освоить межзвёздные путешествия.

Итак, сам процесс слияния галактик ожидается через 4–5 миллиардов лет, когда Млечный Путь и Андромеда, следуя своим гравитационным путям, объединятся в единую структуру. Для того чтобы возник квазар, потребуется значительное количество газа и пыли, которые будут направлены в окрестности черных дыр. Эти материи станет своеобразным топливом для формирования аккреционного диска, поддерживающего активность ядра. Важно отметить, что формирование квазара, даже при наличии всех необходимых условий, не продлится вечно. Как только окружающая материя будет поглощена или рассеяна, квазар угаснет, а центр новой галактики станет более спокойным.

По завершении активной фазы объединённая галактика, вероятно, трансформируется в массивную эллиптическую или линзообразную структуру. Центр потеряет былую яркость, а активное ядро станет обычной чёрной дырой с минимальным уровнем излучения. Тем не менее, последствия активности квазара, такие как нагрев и выбросы газа, продолжат оказывать влияние на эволюцию галактики ещё долгие миллионы лет.

Возможное образование квазара при слиянии Млечного Пути и Андромеды станет одним из самых ярких и

величественных процессов, которые можно представить в астрономическом масштабе. Хотя прямое воздействие на Солнечную систему будет маловероятным, это событие навсегда изменит облик неба, оставив память о колоссальной энергии, скрытой в недрах Вселенной.

Исчезновение квазаров в поздней Вселенной связано с изменениями как в условиях формирования галактик, так и в эволюции самих сверхмассивных черных дыр, которые когда-то были их источником. Эти объекты, блиставшие в ранние эпохи космоса, теперь уступают место менее ярким, но всё ещё активным галактическим ядрам, таким как сейфертовские галактики.

Одной из главных причин этого явления стало истощение "топлива" для квазаров. В ранней Вселенной галактики обладали обилием холодного газа, который служил основным материалом для формирования звёзд и аккреционных дисков вокруг черных дыр. Но со временем большая часть этого газа либо уже превратилась в звёзды, либо была разогрета и рассеяна межгалактическими процессами, такими как вспышки сверхновых и активность самих чёрных дыр. В поздней Вселенной галактики стали менее "сырыми", и процессы акреции замедлились.

Кроме того, сверхмассивные черные дыры, в значительной мере "насытившиеся" в ходе активного роста в ранние эпохи, теперь достигли пределов своего роста. В результате они уже не могут эффективно поглощать окружающий материал. Даже если небольшие количества материи продолжают поступать, это происходит в так называемом "радио-режиме", где излучение проявляется преимущественно в

радиоволнах, а не в ярких вспышках света, характерных для квазаров.

Типы слияний галактик также изменились с течением времени. В ранней Вселенной галактики находились значительно ближе друг к другу, а их столкновения происходили чаще и с большей интенсивностью. Эти "крупные" слияния создавали мощные гравитационные возмущения, приводившие к масштабному притоку газа в центральные области, что и подпитывало квазары. Однако в поздней Вселенной крупные слияния стали редкостью. В основном происходят столкновения между массивными галактиками и их меньшими спутниками. Эти события, как правило, не вызывают столь значительных возмущений, чтобы привести к формированию активного ядра, подобного квазару.

Изменения самой Вселенной как среды также сыграли свою роль. В ранние эпохи межгалактическая среда была плотной и насыщенной потоками газа, который подпитывал галактики, стимулируя активность их чёрных дыр. С расширением Вселенной межгалактическое пространство стало более разреженным, а скорость космического расширения ускорилась, что ещё сильнее уменьшило плотность вещества. В таких условиях потоков материи, достаточных для формирования ярких аккреционных дисков, становится всё меньше.

Магнитные поля играют центральную роль в сложных процессах, происходящих в аккреционных дисках вокруг сверхмассивных чёрных дыр, которые питают квазары. Эти поля формируются благодаря взаимодействию и движению заряженных частиц,

захваченных мощной гравитацией. Они не только направляют движение газа в диске, но и способствуют высвобождению энергии, необходимой для поддержания яркости квазара.

Магнитные поля в аккреционном диске могут стабилизировать его структуру, препятствуя распаду на хаотичные вихри и обеспечивая более эффективный приток материи к горизонту событий чёрной дыры. Кроме того, именно эти поля участвуют в преобразовании энергии вращения диска в мощные джеты, выбрасываемые из полюсов системы. Джеты, состоящие из частиц, движущихся почти со скоростью света, оказываются крайне устойчивыми именно благодаря "каркасу" из магнитных полей, который удерживает их плотность и направление.

Также магнитные поля регулируют эффективность излучения энергии. В зависимости от их интенсивности и конфигурации изменяется скорость акреции и степень нагрева газа в диске, что напрямую влияет на яркость квазара. Сильные магнитные поля способны вызывать выбросы материи в форме "корональных" выбросов, добавляя квазарам их характерное переменное излучение.

Одним из удивительных аспектов изучения квазаров является проблема так называемого "квазара в фокусе". Некоторые из этих объектов, которые мы наблюдаем, выглядят значительно ярче за счёт эффекта релятивистской фокусировки. Это происходит, когда джет — поток заряженных частиц и излучения — оказывается направленным почти прямо на наблюдателя. Такие объекты называются блазарами и выделяются в отдельную категорию активных

галактических ядер.

Эффект фокусировки света не только усиливает видимую яркость квазара, но и приводит к тому, что их спектр и динамика излучения становятся особенно заметными для земных телескопов. Однако из-за этого возникает своего рода "искажённая статистика". Поскольку мы видим только те объекты, джеты которых направлены в сторону Земли, подавляющее большинство активных галактических ядер остаются менее заметными или вовсе скрытыми. Джеты таких систем направлены в другие стороны, что приводит к их значительно более слабому излучению в видимом и рентгеновском диапазонах.

Таким образом, магнитные поля и их взаимодействие с материйей являются основополагающими элементами в функционировании квазаров. Они управляют как внутренними процессами аккреции, так и созданием грандиозных джетов, которые делают квазары видимыми даже на огромных расстояниях. Однако эффекты фокусировки, связанные с направлением джетов, продолжают задавать вызовы для интерпретации наблюдений, раскрывая лишь частичную картину активности во Вселенной.

Квазары остаются уникальными объектами, раскрывающими перед нами тайны далёкого прошлого Вселенной. Среди них выделяются как самые яркие, так и самые удалённые, каждый из которых по-своему удивителен. Один из первых открытых квазаров, 3C 273, до сих пор остаётся эталоном яркости. Его светимость настолько велика, что он виден даже через небольшие любительские телескопы, несмотря на расстояние в два с половиной миллиарда световых лет. С другой стороны,

квазары с рекордным красным смещением, такие как ULAS J1342+0928, дарят учёным представление о Вселенной в возрасте всего 690 миллионов лет, когда шли первые этапы формирования её крупных структур.

Не менее интересной особенностью квазаров является поляризация их излучения, которая подтверждает важную роль магнитных полей в аккреционных процессах. Поляризация света свидетельствует о сложных взаимодействиях между материей и полями, регулирующими движение газа, создание джетов и высокоэнергетические явления.

Существование так называемых "тёмных квазаров" остаётся гипотезой, но их потенциальное влияние на понимание Вселенной крайне важно. Эти объекты, в которых акреция материи происходит с низкой эффективностью, могут быть практически невидимыми в оптическом диапазоне, но их излучение в инфракрасном и радиодиапазоне помогает объяснить некоторые особенности фонового излучения. Такие квазары могли существовать наряду с яркими и активными, но остаются скрытыми из-за своей природы.

Готовясь к написанию книги "Неопределённая Вселенная", я посетил несколько астрофизических и космологических конференций. Мои размышления о космосе, о природе знания и о границах человеческого понимания требовали не только одиночных часов у письменного стола, но и встреч с теми, кто посвятил свою жизнь изучению Вселенной. Так началась моя серия поездок на конференции, где собирались лучшие умы современной космологии и астрофизики.

Одной из первых точек моего маршрута стал Гарвард. Здесь, среди старинных кирпичных зданий, под тенью

вековых деревьев, я оказался на конференции, посвящённой черным дырам — загадочным явлениям, которые своей таинственностью словно воплощают саму неопределенность мироздания. Обсуждая супермассивные черные дыры, скрытые в сердцевинах галактик, я услышал множество гипотез: от привычных теорий их формирования до попыток объяснить их взаимодействие с квантовым миром. Эти идеи вспыхивали и нередко гасли в бурных дебатах, когда каждый из учёных старался отстоять собственное видение.

Позднее, отправляясь на конференцию на Кубе, я осознавал, что вопросы, которые меня интересовали, касались не только научных, но и философских аспектов. В Санта-Кларе я оказался среди учёных, которые открыто признавали, что человеческое понимание времени или пространства лишь слабо соотносится с тем, что происходит в масштабах Вселенной. Обсуждения с мексиканскими коллегами, такими как Роберто Сусман и Аксел де ла Макора, превратились в захватывающее путешествие к границам мысли. Их взгляды укрепили мою убеждённость в том, что сама природа космологии — это балансирование на грани известного и неизведанного.

Особое место заняли беседы о квазарах. Я слушал доклад Криса Импи, который увлечённо рассказывал, как его команда использовала пары этих ярчайших объектов для изучения загадочной тёмной энергии. Именно такие моменты — когда величественные идеи звучат простыми словами — вдохновляют мыслить шире, искать глубже, стремиться понять, что скрывается за пределами привычных формул и моделей.

Каждое посещённое место, каждая встреча стали частичкой той мозаики, которую мне предстояло сложить в книге. "Неопределённая Вселенная" не могла бы появиться без этих путешествий и разговоров. Ведь только общаясь с теми, кто не боится заглянуть в бездну неопределённости, я сам набрался смелости взглянуть на неё с ещё большей глубиной.

В ранней Вселенной квазары могли играть важную роль в процессе реионизации — эпохе, когда межгалактический водород, ранее поглощающий свет, стал прозрачным. Высокоэнергетическое излучение от первых квазаров, вероятно, внесло свой вклад в этот переломный момент, сделав космос доступным для света звёзд и галактик.

Активность квазаров, как выясняется, носит циклический характер. Истощение газа для аккреции приводит к временному угасанию чёрной дыры, однако процесс может возобновиться, если новый материал попадёт в её гравитационное поле. Подобные "включения" и "выключения" могут происходить несколько раз за жизнь галактики, напоминая, что квазары — это не просто космические "маяки", но и динамичные системы.

Современные исследования также обращают внимание на роль карликовых галактик в формировании первых сверхмассивных чёрных дыр. В ранние эпохи небольшие галактики, сливаясь друг с другом, могли становиться основой для формирования массивных аккреционных дисков и ранних квазаров. Эти процессы, вероятно, объясняют, как молодая Вселенная смогла "взрастить" чёрные дыры с массами в миллиарды солнечных масс за

относительно короткий срок.

Мультиволновые исследования квазаров стали ключом к пониманию их природы. Радиоастрономия даёт возможность исследовать джеты, рентгеновские и гамма-обсерватории изучают высокоэнергетические процессы, а оптические спектры помогают определять расстояния и химический состав межгалактической среды. Благодаря этим данным квазары стали настоящими "историками" Вселенной, чьё излучение, проходя через различные области космоса, запечатлевает информацию о плотности материи, химической эволюции и процессах формирования галактик.

Эффекты гравитационного линзирования, при которых свет от квазаров искажается массивными объектами на пути к Земле, становятся ещё одним инструментом для изучения темной материи и строения Вселенной. Такие "линзированные" квазары позволяют не только наблюдать далёкие объекты в увеличенном виде, но и уточнять модели распределения массы, как видимой, так и скрытой.

Каждый новый аспект изучения квазаров открывает горизонты для более глубокого понимания Вселенной, связывая её далёкое прошлое с настоящим и освещая пути будущих открытий.

Итак, квазары представляют собой нечто большее, чем просто ярчайшие источники света во Вселенной. Они — хроникёры времён, олицетворяющие энергию, которая кипит на границе познания и тайны. Их излучение, ярче целых галактик, несёт в себе не только физический свет, но и ключи к разгадке самых сложных загадок космоса. Эти объекты помогают понять, как формировались

галактики, почему первые чёрные дыры росли так быстро и как материи удавалось преодолевать гравитационные силы, создавая столь мощные явления.

Но не менее важно то, что квазары позволяют нам чувствовать себя частью чего-то большего. Глядя на их далёкий свет, мы осознаём своё место в грандиозной и бесконечной истории Вселенной. Их изучение — это напоминание о том, как далеко может простираться человеческая мысль, исследуя не только физическую, но и философскую природу мироздания.

Квазары указывают нам путь — в будущее, которое, как и их сияние, будет наполнено открытиями и вдохновением. В их свете мы видим не только древние эпохи, но и отражение собственного стремления к звёздам. Ибо, как и квазары, человечество жаждет оставаться ярким светом в безграничной тьме неизвестности.

References

- Sanders, D. B., et al. (1988). Evidence for quasar activity triggered by galaxy interactions. *The Astrophysical Journal*, 325(1), 74–91.
- van der Marel, R. P., et al. (2012). The future collision between the Milky Way and Andromeda. *The Astrophysical Journal*, 753(1), 9–14.
- Begelman, M. C., Blandford, R. D., & Rees, M. J. (1980). Massive black hole binaries in galactic nuclei. *Nature*, 287(5778), 307–309.
- Netzer, H. (2013). *The Physics of Active Galactic Nuclei*. Cambridge University Press.
- Kormendy, J., & Ho, L. C. (2013). Coevolution of SMBHs and their host galaxies. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 51(1), 511–653.
- Kriger, B. (2024). The merger of the Milky Way and Andromeda: Formation of a quasar and implications for galactic evolution. *Global Science News*.