

ПРИРОДА

№ 3, 2005 г.

Решетников В.П.

Эти странные галактики с полярными кольцами

© “Природа”

Использование и распространение этого материала
в коммерческих целях
возможно лишь с разрешения редакции



Сетевая образовательная библиотека “VIVOS VOCO!”
(грант РФФИ 03-07-90415)

vivovoco.nns.ru
vivovoco.rsl.ru
www.ibmh.msk.su/vivovoco

Эти странные галактики с полярными кольцами



В.П.Решетников

В любой науке есть закономерности, факты, объекты, которые выпадают из общей, сложившейся на данный момент картины этой области знания. Впоследствии иногда оказывается, что такие стоящие особняком явления были первыми указаниями на предстоящую смену взглядов, на зарождение новых парадигм и подходов. Яркие примеры тому — всем известные «облачка» на горизонте физики конца XIX века, из которых затем выросли основные представления физики XX века.

В астрономии таких «облачков» всегда было много. Например, в 1933 г. Фриц Цвикки отметил сильное различие в оценках массы скопления Волосы Вероники, найденных по дисперсии скоростей составляющих его галактик и по сумме их индивидуальных масс. Через десятилетия выяснилось, что это было первым свидетельством существования в галактиках и в их системах «скрытой», не излучающей в оптическом диапазоне массы. В 1943 г. Карл Сейферт описал группу необычных спиральных галактик, в ядрах которых наблюдаются широкие эмиссионные линии. Спустя много лет эти объекты оказались очень важным кирпичиком в современных представлениях об активно-



Владимир Петрович Решетников, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Астрономического института при Санкт-Петербургском государственном университете. Область научных интересов — происхождение и эволюция галактик, их взаимодействие.

сти ядер галактик. К числу таких странных, озадачивающих и очень красивых объектов, позднейшее исследование которых привело ко многим интересным открытиям, можно отнести и так называемые галактики с полярными кольцами (в дальнейшем — ГПК).

Что такое галактика с полярным кольцом?

Когда произносится слово «галактика», у большинства из нас в воображении возникают хрестоматийные изображения Туманности Андромеды (M 31), галактики Водоворот (M 51) или других столь же эффектных и красивых внегалактических

объектов. Все эти объекты в оптическом диапазоне выглядят плоскими — составляющие их звезды и межзвездная среда вращаются почти в одной плоскости. ГПК, в отличие от обычной галактики, демонстрирует *вращение относительно двух осей*: ее центральная часть крутится относительно своей малой оси, а в почти перпендикулярной плоскости вращается протяженная структура, называемая полярным кольцом (рис.1).

Для того, чтобы выделить ГПК из ряда сходных объектов (см. об этом далее), введем, следуя [1], определение «классической» галактики с полярным кольцом. Ее отличительные признаки: в галактике присутствуют две подсистемы, вращающиеся

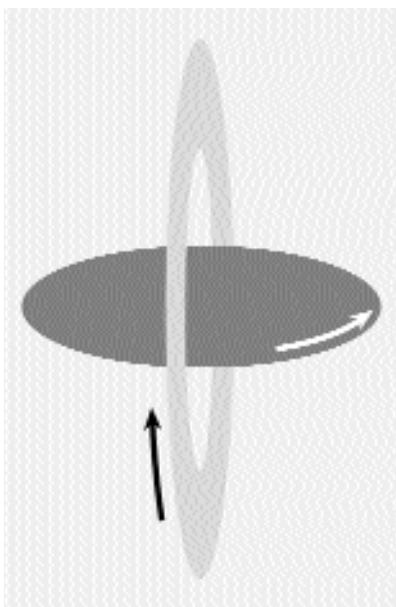


Рис. 1. Структура галактики с полярным кольцом: основная галактика (темный эллипс) вращается относительно своей малой оси, полярная структура вращается вокруг большой оси центральной галактики.

в почти ортогональных плоскостях и имеющие сопоставимые скорости вращения; обе кинематически выделенные подсистемы имеют близкие систематические скорости (т.е. они находятся на одном расстоянии, а не проецируются друг на друга), и их центры совпадают; полярная структура (кольцо или диск) сопоставима по размерам с центральной галактикой, светится в оптическом диапазоне (это значит, что она должна содержать значительное количество звезд, а не быть чисто газовой) и относительно плоская.

Характерная особенность большинства «классических» объектов — то, что их центральные объекты похожи на линзовидные (или, как они называются в астрономии, галактики типа S0) и эллиптические галактики без газа и пыли, а полярные структуры содержат много газа и в них идет процесс рождения новых звезд.

Как они были открыты?

Приведенное выше описание ГПК очень необычно. Кажется, что если такие объекты реально существуют, то они давно должны были привлечь к себе внимание астрономов. Однако галактики с полярными структурами исключительно редки и, вдобавок, обычно очень слабы. Вероятно, поэтому их начали активно изучать лишь в 80-е годы.

Первым объектом, достоверно отнесенным к ГПК, была галактика NGC 2685*. Внимание на нее впервые обратил, по-видимому, Алан Сэндидж. В конце 50-х годов он завершал подготовку к изданию Хаббловского атласа галактик и, наткнувшись на очень необычный объект, заинтересовал им Маргарет и Джеффри Бербиджей. Бербиджи получили изображение NGC 2685 на 2.1-метровом телескопе обсерватории МакДональд (Техас, США) и в 1959 г. составили первое описание ее озадачивающей морфологии. Как видно на рис.2, вытянутое главное тело галактики пересечено вдоль малой оси серией темных полос, которые вне его переходят в светящиеся образования, полуобхватывающие NGC 2685. Галактика и ее полярная структура окружены слабой протяженной оболочкой. Уникальность оптической структуры NGC 2685 позволила Сэндиджу назвать ее «возможно, самой необычной галактикой» среди всех относительно ярких внегалактических объектов.

Однако странности морфологии еще не доказывают, что в галактике присутствуют две ортогональные кинематические подсистемы. Поэтому лишь спектральные наблюдения середины 70-х годов однозначно показали, что главное тело NGC 2685

* Как это часто бывает, позднее выяснилось, что NGC 2685 сама по себе является не вполне типичным представителем класса объектов, прототипом которого она выступила. Полярное кольцо галактики оказалось слишком асимметричным и слабым.

вращается вокруг своей малой оси, а система волокон, пересекающих главное тело, вращается относительно большой оси центральной галактики** [2, 3].

Самая знаменитая галактика с полярным кольцом — конечно, NGC 4650A (рис.3). Именно ее часто называют прототипом данного класса объектов, хотя формально это и неправильно. Впервые галактика была описана в 1967 г. аргентинским астрономом Хосе Луисом Серсиком, который обнаружил ее на снимках южного полушария небесной сферы. Если бы этот объект был виден в северном полушарии, его, без сомнения, открыли бы раньше. Спектральные наблюдения NGC 4650A, проведенные в 70-е годы, показали, что видимая почти «с ребра» изогнутая структура, которая пересекает центральную галактику вдоль ее малой оси, вращается вокруг большой оси главной галактики. И, наконец, в 1984 г. было установлено, что центральный объект, выглядящий как линзовидная галактика, вращается вокруг своей малой оси [4]. Тем самым было подтверждено, что в NGC 4650A присутствуют две крупномасштабные подсистемы, вращающиеся в почти ортогональных плоскостях.

После открытия ГПК некоторое время было неясно, что представляют из себя их центральные объекты. Рассматривались два варианта: согласно одному, центральный объект — это вытянутая галактика, вокруг «тали» которой вращается кольцо; согласно второму, главная галактика — сплюснутый у полюсов и наблюдаемый почти «с ребра» звездный диск, в околополярной плоскости которого находится

** Любопытно, что первое сообщение о вращении околополярной структуры вокруг большой оси галактики было опубликовано Мари-Хелен Ульрих еще в 1965 г. (тогда она носила фамилию Демулин) в относительно малодоступном издании и на французском языке. Вероятно, десять лет до следующей публикации [2] понадобилось для того, чтобы привыкнуть к этому результату и еще раз перепроверить его на другом телескопе.

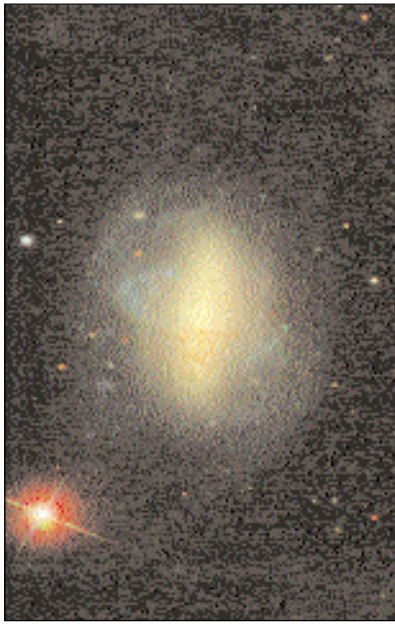


Рис.2. Галактика NGC 2685 (по данным обзора SDSS).



Рис.3. Галактики NGC 4650A (вверху, снимок Космического телескопа «Хаббл») и NGC 660 (SDSS). Оптический диаметр полярной структуры NGC 4650A составляет 20 кпк, а у NGC 660 — 30 кпк.

кольцо. Дальнейшее фотометрическое и спектральное изучение первых ГПК однозначно показало, что реализуется именно второй вариант.

В 80-е годы предприняли систематический поиск ГПК, результаты которого были суммированы в Каталоге галактик с полярными кольцами и сходных объектов [1]. В каталог вошли шесть надежно установленных к 1990 г. ГПК, 27 хороших кандидатов и 73 возможных кандидата в ГПК. Планомерное изучение объектов этого каталога (например [5]) увеличило к настоящему моменту число «настоящих» ГПК, т.е. удовлетворяющих сформулированным в начале статьи условиям, более чем вдвое (см. несколько примеров на рис.3–4), хотя их число все еще остается очень небольшим.

Чем они интересны?

Чем же привлекают астрономов галактики с полярными кольцами? Они являются, без сомнения, одними из наиболее экзотических представите-

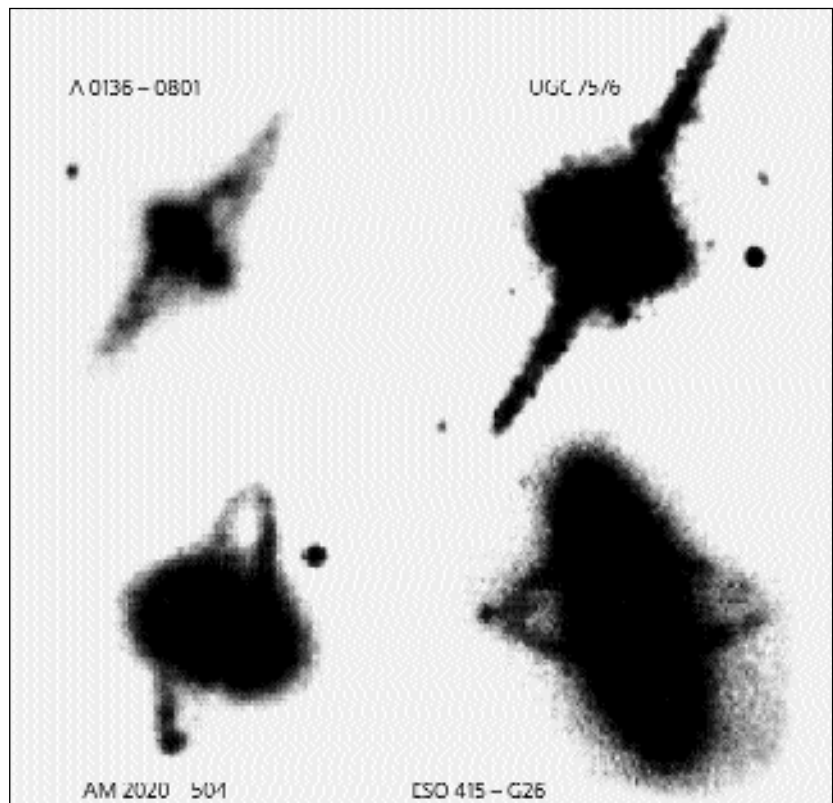


Рис.4. Изображения четырех галактик с полярными кольцами [1].

лей внегалактического «зоопарка», но интерес к ним связан, конечно, не только с созерцанием необычных картинок.

В первую очередь при изучении ГПК исследователи надеются получить новую информацию о неуловимой скрытой массе в звездных системах. На рис.3 и 4 видно, что полярные структуры бывают очень протяженными — их размер может в несколько раз превышать размер центральной галактики. Полярные кольца часто бывают тонкими, симметричными и, по-видимому, долгоживущими, относительно устойчивыми образованиями (рис.4). Следовательно, кинематика полярных колец может помочь оценить вклад скрытой массы в их пределах (по аналогии с тем, как это делается по протяженным кривым вращения спиральных галактик). Наблюдения и моделирование ряда ГПК показали, что скорости вращения вещества в полярных структурах невозможно объяснить, если предполагать, что распределение массы в этих объектах следует распределению звездной составляющей. Необходимо допустить, что ГПК окружены протяженными и довольно массивными темными гало. Например, для галактик UGC 7576 (рис.4) и UGC 9796 оказалось, что в пределах 20 кпк от их центров масса темного гало должна в 2—3 раза превышать «светящуюся» массу [5]. Это очень важный результат, поскольку центральные объекты ГПК — это галактики раннего типа (обычно линзовидные), для которых получить информацию о скрытой массе другими способами очень сложно.

Однако сам факт наличия скрытой массы — это не главное, что можно извлечь из анализа ГПК. Оказывается, уникальная геометрия ГПК позволяет оценить и форму темных гало! А форма темных гало галактик — это важнейший тест природы темного вещества. Небарионные темные гало в модели Вселенной с холодной скрытой массой должны быть трехосны-

ми и иметь умеренные сжатия ($\approx 0.5-0.7$), гало из взаимодействующих друг с другом частиц должны быть почти сферическими. Если же скрытая масса состоит из холодного молекулярного газа, то сжатие таких гало будет ≈ 0.2 .

В случае ГПК мы можем непосредственно сравнить скорости вращения вещества на устойчивых орбитах в двух почти ортогональных плоскостях и, тем самым, оценить сплюснутость гравитационного потенциала галактики. Реальная ситуация, конечно, не столь проста. К примеру, полярные структуры могут быть по массе сравнимы с центральными галактиками и существенно исказить общий потенциал ГПК. Но проблемы есть и у других — очень немногочисленных — современных методов оценки сжатия темных гало галактик. (Эти методы таковы: анализ расширяющихся к периферии слоев атомарного водорода HI в спиральных галактиках, изучение формы изотопов рентгеновских гало эллиптических галактик, гравитационное линзирование галактик друг на друге.)

Первые работы по оценке сжатия потенциала ГПК приводили к выводу о почти сферических темных гало. В девяностых годах усложнение моделей и уточнение наблюдательных данных вылились в заключение о сплюснутых (≈ 0.5) гало. И, наконец, несколько лет назад ситуация запуталась еще больше. Сначала оказалось, что наблюдательные данные о галактике NGC 4650A могут быть объяснены и в том случае, если сплюснутое гало связано не с центральной галактикой, а с полярным кольцом (т.е. большая ось гало совпадает с большой осью полярной структуры). Затем анализ соотношения Талли—Фишера (зависимость между светимостью и максимальной скоростью вращения) показал: скорости вращения «классических» ГПК примерно на 30% выше, чем у обычных галактик той

же светимости [6, 7]. Единственное объяснение такой особенности было найдено в ходе численного моделирования — темное гало ГПК должно быть сплюснутым и вытянутым вдоль полярной структуры. Но в таком случае может измениться традиционное представление о ГПК как о галактике раннего типа, окруженной кольцом. Быть может, объект с протяженной дискообразной полярной структурой — это спиральная галактика, в центре которой образовался вытянутый в перпендикулярном направлении вращающийся звездный диск?..

ГПК образуются при взаимодействиях и слияниях галактик (см. об этом далее) и поэтому они являются удобными «лабораториями» для исследования вопроса о связи между активностью ядер и взаимодействием галактик. С тех пор, как было установлено, что причиной нетепловой активности ядер галактик служит аккреция вещества на центральный массивный объект (скорее всего, черную дыру), стало понятно, что внешнее возмущение и перенос массы с одного объекта на другой могут в принципе облегчить доставку «питания» к ядру и стимулировать его активность. Позднейшие исследования показали, что эта связь, если она и есть, не однозначна. Наиболее сильные проявления ядерной активности — квазары — и в самом деле очень часто встречаются среди возмущенных галактик и членов взаимодействующих систем. Однако доля объектов с умеренно-активными ядрами (так называемых сейфертовских галактик) остается примерно одинаковой как среди одиночных, так и среди взаимодействующих галактик.

Спектральные обзоры ГПК и объектов, возможно, находящихся на стадии формирования полярных структур, показали, что среди них доля умеренно-активных ядер необычно велика — вплоть до $\approx 50\%$ [5, 8]. Это заключение, конечно, нуждается

ся в дальнейшей проверке, поскольку количество изученных ГПК пока еще очень невелико. Если же оно подтвердится, то это может означать, что наиболее благоприятные условия для питания «монстра» в ядре галактики складываются лишь при длительном взаимодействии и переносе массы.

Можно перечислить еще много интересных задач, которые ставит перед нами изучение ГПК. Например, каков механизм звездообразования в полярных кольцах? Мы знаем, что во многих полярных структурах процесс рождения новых звезд идет довольно интенсивно (например, изображение кольца NGC 4650A просто усыпано молодыми звездными скоплениями — см. рис.3). Но что служит спусковым механизмом звездообразования, существуют ли в этих структурах волны плотности и спиральные ветви?

Наконец, немалую роль в интересе, который вызывают галактики с полярными кольцами, играет и то, что они очень красивы. Это не только пристрастное мнение автора статьи, но и мнение, можно сказать, «астрономической общности». Известно, что в Институте космического телескопа (STScI) выполняется проект «Наследие Хаббла», в рамках которого собираются наиболее впечатляющие снимки, полученные на телескопе «Хаббл». Коллекция пополняется как посредством архивных изысканий, так и с помощью оригинальных наблюдений. Авторы проекта сначала сами отбирали понравившиеся им объекты, а затем было решено провести интернет-голосование, в ходе которого все желающие могли высказаться за наблюдения одного из предварительно отобранных объектов. 44% из примерно 8000 проголосовавших отдали свои голоса за NGC 4650A. В соответствии с общественным выбором в апреле 1999 г. на телескопе «Хаббл» и был сделан снимок, приведенный на рис.3.

Как они образовались?

Образование столь странных объектов — одна из самых интригующих загадок, связанных с ГПК. Первые гипотезы были очень экзотическими. Например, супруги Бербиджи, описав структуру NGC 2685 (рис.2), предположили, что система полярных волокон удерживается в равновесии магнитным полем. Серсик, открывший NGC 4650A, считал, что главная галактика является вытянутым образованием («веретеном»), а кольцевая структура может быть результатом нестационарных динамических процессов в ее ядре. Высказывалось даже мнение, что в случае NGC 2685 мы наблюдаем результат взрыва в ядре спиральной галактики (центральное эллиптическое тело рассматривалось как результат этого взрыва)!

В конце 70-х было высказано не столь радикальное воззрение на природу ГПК, и принадлежало оно автору «гипотезы слияний» [9], пионеру численных расчетов взаимодействий галактик Алару Тумре. Он предположил, что полярная структура NGC 2685 есть результат разрушения богатой газом карликовой галактики вблизи главного тела NGC 2685. Сейчас такая точка зрения — внешняя аккреция — кажется совершенно естественной. Действительно, объект с двумя почти ортогональными кинематическими подсистемами не мог возникнуть в ходе коллапса одиночного протогалактического облака. Следовательно, в истории такой галактики должно было быть «вторичное» событие, в качестве которого лучше всего подходят аккреция части вещества сближенной галактики или ее полное разрушение на околополярной орбите. Однако в конце 70-х подобная гипотеза звучала почти столь же экзотично, как и гипотеза взрыва в центре галактики. Идея о том, что взаимодействия и слияния галактик —

это очень важный фактор в их эволюции, тогда только пробивала себе путь. Галактики с полярными кольцами стали яркой и наглядной иллюстрацией «гипотезы слияний»!

Как сейчас представляют себе формирование ГПК? Самый простой и наглядный механизм — это аккреция части сближенной галактики. Данный механизм можно поставить на первое место, поскольку он подтвержден не только численными расчетами (рис.5), но и наблюдениями. Конечно, далеко не каждое сближение галактик может привести к образованию полярного кольца вокруг одной из них. Это возможно лишь при выполнении ряда условий. Например, возникновение долгоживущего кольца наиболее вероятно, когда богатая газом галактика (потенциальный донор) пролетает в околополярной плоскости свободной от газа галактики раннего типа [10]. Если галактика-реципиент содержит протяженный газовый диск, то из-за взаимодействия двух ортогональных газовых потоков кольцо вокруг нее проживет недолго и быстро оседет в главную плоскость этой галактики. Если захват вещества произойдет не в околополярной плоскости (в случае сплюснутого у полюсов или трехосного потенциала в полярной плоскости существуют устойчивые орбиты), а под большим углом к плоскости диска, то из-за так называемой дифференциальной прецессии и диссипации энергии при взаимодействии газовых облаков кольцо относительно быстро оседет к основной плоскости галактики. Кроме того, необходимы вполне определенные относительные скорости пролета галактик, фиксированный диапазон расстояния их наибольшего сближения, определенная ориентация и структура галактик.

В близкой к нам области Вселенной найдено несколько двойных систем, в которых непосредственно наблюдается пе-

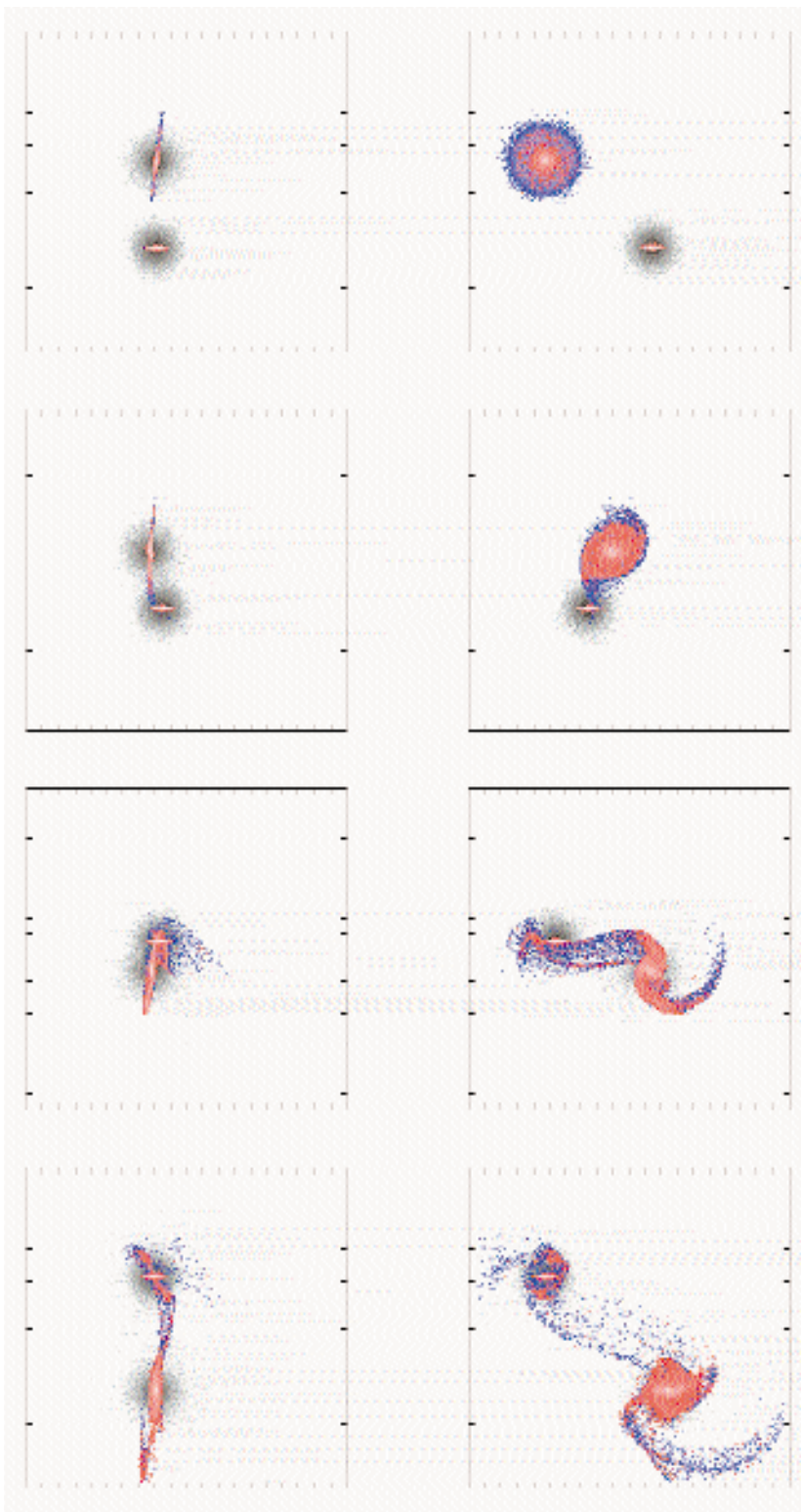


Рис.5. Пример численных расчетов формирования околополярной структуры при тесном сближении двух спиральных галактик. Изображены две разные проекции четырех фаз взаимодействия (сверху вниз). Шаг по времени — 225 млн лет, размер кадра — 400 кпк. Красным цветом изображена звездная составляющая каждой из галактик, синим — газ, черными точками показаны темные гало галактик.



Рис.6. Взаимодействующая двойная система NGC 3808A,B. Спектральные наблюдения свидетельствуют, что спиральная ветвь главной галактики не просто вытянута в сторону спутника, но реально наматывается вокруг его большой оси.

ренос массы с одной галактики на другую с закручиванием этого вещества вокруг большой оси спутника. Пример такой двойной системы показан на рис.6 (другие примеры — это NGC 1409/1410, NGC 6285/6286, NGC 7464/7465). К подвариантам этого сценария можно отнести разрушение относительно маломассивного спутника вблизи основной галактики, а также аккрецию облака межгалактического газа.

Другой возможный механизм — лобовое столкновение двух перпендикулярно ориентированных спиральных галактик [11]. Если столкновение произойдет с высокой относительной скоростью ($\Delta V \sim 500$ км/с), получится кольцевая галактика (самый знаменитый пример такого объекта — галактика «Тележное колесо»). Относительно медленное столкновение ($\Delta V \leq 100$ км/с) и последующее слияние могут привести к образованию гибридного объекта, подобного ГПК по структуре. Внешние области диска спи-

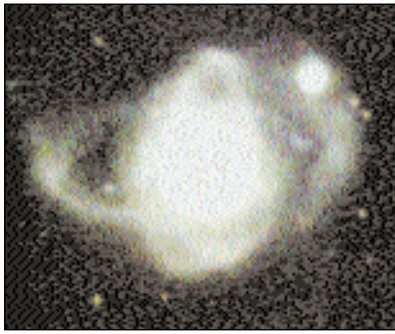


Рис.7. Галактика ESO 474-G26 (изображение получено автором на 1.6-метровом телескопе Обсерватории Пико дос Диас, Бразилия). Оптический диаметр галактики равен 70 кпк.

ральной галактики, в середину которой врезался менее массивный объект, будут выглядеть как полярное кольцо, а в центре при слиянии двух галактик и вспышечном звездообразовании может возникнуть ортогонально вращающийся и лишенный газа звездный диск. Возможно, именно так образовался удивительный объект, показанный на рис.7 [12]. В наблюдаемой структуре этой галактики выделяется не одно, а целых два ортогонально ориентированных кольца.

Описанные механизмы не исчерпывают весь предложенный для объяснения ГПК спектр моделей, но они представляются наиболее естественными. Кроме того, работоспособность обоих механизмов проверена реалистическими численными расчетами и, хотя бы отчасти, наблюдениями.

Стоит также отметить, что образование ГПК может в некоторых аспектах напоминать процесс формирования галактик в рамках популярного сейчас сценария иерархического сгущивания. По этому сценарию галактики образуются в процессе аккумуляции массы извне — за счет слияний и внешней аккреции. Следовательно, появляется еще одна причина интереса к ГПК — исследование близких

объектов этого типа может помочь лучше разобраться и в образовании обычных галактик.

Много ли их?

Двадцать лет назад все достоверно известные ГПК можно было пересчитать по пальцам одной руки. Они рассматривались как некий исключительно редкий, предельный, вырожденный случай взаимодействия между галактиками. «Неубранные с шоссе остатки автомобильной аварии» — так определил ГПК один из пионеров их исследования Поль Шехтер.

Авторы каталога [1] попытались оценить частоту встречаемости ГПК и получили, что в окружающей нас области Вселенной примерно 0.5% всех галактик типа S0 окружены полярными структурами*. Если учесть, что линзовидные галактики составляют около 1/10 всех галактик, итоговая частота встречаемости ГПК оказывается удручающе маленькой — лишь ~0.05%. Позднее было открыто, что и спиральные галактики могут быть окружены подобными структурами (например, NGC 660 на рис.3) и, следовательно, встречаемость ГПК в действительности может быть несколько выше.

Однако если посмотреть на рис.3—4, легко заметить, что у известных ГПК кольцевые структуры и центральные галактики видны почему-то под большими углами к лучу зрения, почти «с ребра». Оказывается, на обнаружение таких объектов большое влияние оказывает так называемая «наблюдательная селекция». Смысл этого эффекта в применении к нашим объектам состоит в том, что их легче обнаружить, когда обе подсистемы (кольцо и галактика) видны «с ребра» и, тем самым, сразу видно, что галактика содержит

* У всех известных к началу 1990-х годов объектов этого типа центральные галактики классифицировались как линзовидные.

подсистему, не лежащую в ее основной плоскости. Если мысленно развернуть ГПК (например, NGC 4650A на рис.3) так, чтобы кольцо было видно «плашмя», то такой объект, вероятно, выглядел бы как спиральная галактика с баром и, скорее всего, не привлек бы к себе особого интереса. Следовательно, многие относительно близкие ГПК могут оставаться неизвестными из-за своей «неудачной» ориентации. Учет этого и других селекционных эффектов привел авторов каталога [1] к выводу, что примерно 5% всех галактик типа S0 имеют или имели в прошлом полярные структуры. Таким образом, реальная встречаемость феномена полярных структур должна быть раз в 10 выше, чем приведенные ранее оценки, и может достигать ~0.5%.

Являются ли ГПК изолированным, никак не связанным с другими галактиками классом объектов? Конечно, нет. Исследования последних лет свидетельствуют, что существует непрерывный и очень широкий спектр возможных последствий взаимодействий и слияний между галактиками. Очень часто эти слияния приводят к формированию так называемых кинематически выделенных подсистем в галактиках. В зависимости от характеристик галактик и от условий их взаимодействия может получиться почти все, что угодно. Скажем, известны многочисленные объекты, в которых звезды и газ вращаются под произвольными углами друг к другу и даже в противоположных направлениях. Есть примеры наличия в одной галактике двух контрвращающихся газовых подсистем. А в галактике NGC 4550 в разные стороны вращаются два звездных диска, имеющих сравнимые массы!

Иногда кинематически выделенные подсистемы могут иметь вид внешних по отношению к главному телу галактики кольцевых структур. К примеру, пло-

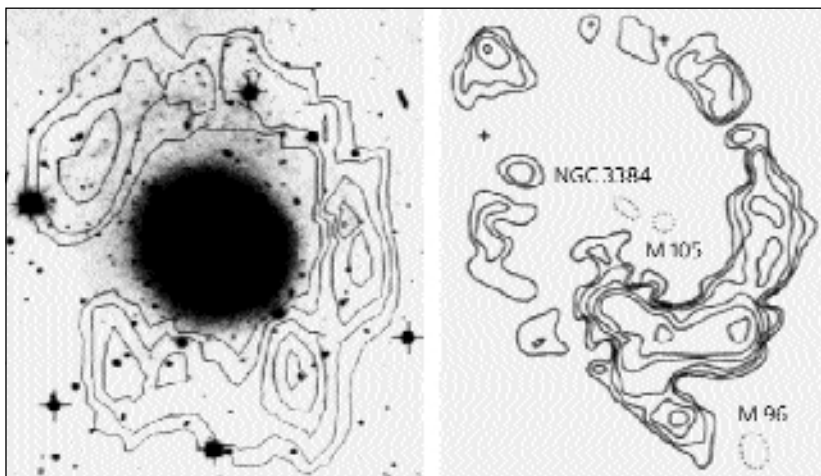


Рис.8. Слева: кольцо атомарного водорода (распределение HI изображено непрерывными линиями) вокруг эллиптической галактики IC 2006 [13]. Диаметр кольцевой структуры составляет 25 кпк. Справа: гигантская кольцевая структура HI (ее диаметр достигает 200 кпк) в группе галактик М 96 [14].

кость нашей Галактики — Млечного Пути — пересекает слабый звездный поток, созданный разрушающейся в ее гравитационном поле карликовой галактикой Sgr I. Этот звездный поток почти ортогонален плоскости Галактики и имеет форму гигантского эллипса (его большая ось равна 30 кпк). Есть указание на то, что облака HI в гало Млечного Пути образуют огромное (радиусом около 90 кпк) околополярное кольцо. Радиоастрономические наблюдения открыли газовые кольцевые структуры и у множества других галактик.

Например, на рис.8 показано кольцо вокруг IC 2006, а также вокруг целой группы галактик! Если бы плотность газа в кольце IC 2006 была достаточно высока и там начался процесс звездообразования, мы бы увидели это кольцо в оптическом диапазоне и, возможно, отнесли бы эту галактику к ГПК.

Итак, галактики с полярными кольцами — это не экзотика и не исключение из правил. Они — закономерный результат активной «общественной» жизни галактик, в ходе которой могут сближаться и захватывать

у других звездных систем часть вещества (рис.5 и 6) и даже сливаться с ними. При определенных условиях результаты такого взаимодействия могут привести к формированию квазиустойчивых конфигураций — ГПК, которые в силу необычности своей морфологии и привлекают особое внимание. При менее «удачных» параметрах взаимодействия части сближившихся галактик быстро сливаются, и следы активных событий в их прошлом или в прошлом остатка их слияния можно обнаружить лишь при очень детальном исследовании.

Заканчивая рассказ об удивительных галактиках с полярными кольцами, хочется обратить внимание на то, что в ходе повествования приходилось затрагивать очень широкий круг вопросов внегалактической астрономии. Здесь и природа скрытой массы, и звездообразование, и ядерная активность, и, наконец, взаимодействие и перенос массы между галактиками. Это наглядно показывает, что ГПК являются замечательными природными лабораториями для исследования того, как образуются и эволюционируют окружающие нас звездные системы. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 98-02-18178 и 03-02-17152.

Литература

1. Whitmore B.C., Lucas R.A., McElroy D.B. et al. // *Astronomical Journal*. 1990. V.100. №5. P.1489—1522.
2. Ulrich M.-H. // *Publ. Astron. Soc. Pacif.* 1975. V.87. P.965—967.
3. Schechter P.L., Gunn J.E. // *Astronomical Journal*. 1978. V.83. №11. P.1360—1362.
4. Schechter P.L., Ulrich M.-H., Boksenberg A. // *Astrophysical Journal*. 1984. V.277. №2. P.526—531.
5. Reshetnikov V.P., Combes F. // *Astron. Astrophys.* 1994. V.291. №1. P.57—73.
6. Iodice E., Arnaboldi M., Bournaud F. et al. // *Astrophysical Journal*. 2003. V.585. №2. P.730—738.
7. Reshetnikov V.P. // *Astron. Astrophys.* 2004. V.416. №3. P.889—900.
8. Reshetnikov V.P., Faundez-Abans M., Oliveira-Abans M.de // *Month. Not. Roy. Astron. Soc.* 2001. V.322. №4. P.689—694.
9. Решетников В.П. Взаимодействующие галактики // *Природа*. 2000. №6. С.13—21.
10. Reshetnikov V., Sotnikova N. // *Astron. Astrophys.* 1997. V.325. №3. P.933—942.
11. Bekki K. // *Astrophysical Journal*. 1997. V.490. №1. P.37L—40L.
12. Reshetnikov V., Bournaud F., Combes F. et al. // *Astron. Astrophys.* 2005. (в печати)
13. Schweizer F., Gorkom J.H.van, Seitzer P. // *Astrophysical Journal*. 1989. V.338. №2. P.770—788.
14. Schneider S.E., Skrutskie M.F., Hacking P.B. et al. // *Astronomical Journal*. 1989. V.97. №3. P.666—673.