

УДК 524.7—42—13

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ
ШЕСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ГАЛАКТИК. I

А. А. КОРОВЯКОВСКАЯ.

Поступила 13 июля 1982

Принята к печати 20 января 1983

Исследована морфология шести групп взаимодействующих галактик из атласа Б. А. Воронцова-Вельяминова методом цифровой фильтрации по крупномасштабным фотографиям, полученным на БТА. Показано, что из пяти групп галактик, которые можно было бы представить по прямым снимкам как цепочки, только одна пероятью является реальной цепочкой. В группе VV 551, классифицированной ранее как голубое гнездо, состоящее из 4—5 членов, обнаружены только две спиральные галактики.

1. *Введение.* Среди большого числа взаимодействующих галактик [1, 2] Воронцов-Вельяминов выделил в отдельный класс, так называемые, цепочки галактик, представляющие собой линейные или почти линейные комплексы, состоящие из трех или более членов. Принадлежность к этой группе галактик определялась им в основном при анализе прямых снимков, по которым проводилась классификация, и естественно, что значительный процент найденных при таком отборе цепочек может оказаться либо случайной проекцией на небесную сферу генетически не связанных галактик, которые легко отличить от генетически связанных с помощью определения лучевых скоростей, либо группой взаимодействующих галактик, видимой с ребра. Дифференцировать последние с реальными цепочками в пространстве — довольно сложная задача.

Для решения этого вопроса можно привлечь соображения о гравитационной неустойчивости линейных структур, из которых следует, что цепочки должны быть молодыми образованиями с признаками звездообразования, морфология компонентов которых не сильно отличается.

При построении теоретических моделей образования и эволюции таких систем необходимо знать их физические параметры: скорости компонентов, размеры и детальную структуру. Лучевые скорости цепочек галактик определялись многими авторами. Наиболее полные сведения содержатся в работах [1, 2], где приведены значения лучевых скоростей, рас-

стояний до объекта, абсолютных звездных величин и размеров систем; для некоторых цепочек получена дисперсия скоростей.

Морфология линейных комплексов исследовалась в [3—5] с помощью визуального просмотра прямых снимков и сравнения отпечатков, полученных с оригинала с разными экспозициями. При подобном исследовании выявление детальной структуры и получение количественных оценок градиентов яркости и размеров компонентов затруднено из-за отсутствия количественных данных об изображении, особенно в тех случаях, где велики градиенты яркости или имеются слабосветящиеся детали с малым контрастом относительно фона неба.

В [6] предложена методика исследования морфологии тесных групп галактик, которая позволяет с помощью методов цифровой фильтрации определять относительное распределение яркости в системе, угловые размеры компонентов, их число, присутствие слабосветящейся оболочки вокруг системы.

В настоящей работе описаны результаты морфологического анализа шести взаимодействующих групп галактик (пять из которых по прямым снимкам могут быть отнесены к цепочкам), проведенного по крупномасштабным фотографиям, полученным на БТА и подвергнутым цифровой обработке, улучшающей угловое разрешение исходных снимков.

2. *Метод исследования.* При исследовании морфологии использовался метод, описанный в [6]. Каждая группа галактик сканировалась на фотометрическом комплексе, созданном в САО на базе отечественного микроденситометра АМД-1 [7]. В оцифрованном виде изображение представляло собой двумерный массив, размерность которого составляла 512×512 измерений. Шаг дискретизации зависел от размера системы галактик на пластинке и не превышал $25 \mu(0.''215)$.

После обработки оцифрованного изображения фильтром низкой частоты и оптимальным фильтром [6] оно представлялось изоуровнями, которые строились через заданное значение плотности. Для лучшей различимости градаций плотности три соседних изоуровня отмечались разными цветами: черным, серым, белым.

В табл. 1 для каждого объекта приведены условия получения прямого снимка на БТА и его обработки. В первом столбце указано название объекта, во втором — качество изображения при получении его на БТА, в третьем — соответствующие объекту рисунки, в четвертом — вид обработки, в пятом — шаг дискретизации, в шестом — размер щели во время сканирования и в седьмом — шаг по плотности между соседними изоуровнями.

3. *Морфология группы галактик VV 243 (A 195)* описана Воронцовым-Вельяминовым в [3, 5] как цепочка в стадии образования. Лучевые скорости этого объекта получены И. Д. Караченцевым и составляют

~ 1700 км/с вдоль главной оси (частное сообщение). Небольшая дисперсия скоростей дает основания полагать, что группа галактик находится в гравитационном взаимодействии. На то же обстоятельство указывает изучение морфологии группы.

Таблица 1

Объект	Качество изображения	Номер рисунка	Вид обработки	Шаг дискретизации	Щель в $\mu\text{т}$	Шаг плотности
VV 243 (A 195)	2.5—3.0	1a	6/об*	—	—	—
		1б	ФНЧ**	25	25×25	0.05
		1в	ВОФ***	25	25×25	0.1
VV 523 3991 (ARO 5)	1.0—2.0	1г	6/об	—	—	—
		1д	ФНЧ	20	20×20	0.1
		1е	ВОФ	20	20×20	0.1
VV 470	3.0	1ж	6/об	—	—	—
		1з	ФНЧ	25	25×25	0.05
		1и	ВОФ	25	25×26	0.05
N-галактика ближняя	3.0	2a	ФНЧ	10	20×20	0.15
N-галактика дальняя	3.0	2б	ФНЧ	10	20×20	0.15
VV 391 (Zw 242)	3.0	3a	6/об	—	—	—
		3б	ФНЧ	15	20×20	0.1
		3в	ВОФ	15	15×15	0.05
VV 489	3.0—4.0	3г	6/об	—	—	—
		3д	ФНЧ	20	20×20	0.1
		3е	ВОФ	20	20×20	0.05
		3ж	6/об	—	—	—
VV 551	2.0	3з	ФНЧ	20	20×20	0.1
		3и	ВОФ	15	20×20	0.1

* Прямой снимок без обработки.

** Обработка оцифрованного фотоизображения фильтром низкой частоты.

*** Обработка оцифрованного фотоизображения винеровским оптимальным фильтром.

Из сопоставления рисунков 1a, 1б можно сделать следующие заключения. Самый яркий компонент является спиральной галактикой с перемычкой. Перемычка и ядро окружены туманом в виде эллипса, по краям которого наблюдается увеличение яркости. На концах перемычки имеются сгущения, которые отчетливо видны на рис. 1б. Перпендикулярно перемычке и от ее концов отходят хорошо развитые спирали, в которых при данном уровне градаций плотности сгущения не наблюдаются. Южная спираль имеет правильную структуру, северная размытую (главная ось

располагается сверху вниз и с севера на юг), что свидетельствует о явлении приливного взаимодействия в системе галактик. Хорошо обнаружены на рис. 1b сгущения в кольце. Ядро галактики очень яркое, звездообразное с высоким градиентом плотности. На рис. 1b ядро имеет большие размеры и меньший градиент из-за размытости его атмосферой.

При значении постоянной Хаббла 75 км/с Мпс (далее везде будет использоваться это значение) расстояние до VV 243 составляет около 227 Мпс . Размер вдоль большой оси эллипса ярчайшего компонента, взятого по второй изоденсе от уровня фона, составляет $\sim 33 \text{ кпс}$.

Второй по яркости компонент представляет собой спиральную галактику, видимую с ребра. По-видимому, спирали развиты слабо, но имеют явную асимметрию: северная спираль более мощная, чем южная, что служит свидетельством существования в группе приливного взаимодействия. Градиент плотности в ядре в $2\text{--}2.5$ раза меньше, чем у яркого компонента. Размер галактики в направлении с севера на юг, измеренный по первому, не общему с яркой галактикой изоуровню, составляет 20 кпс .

На севере и северо-западе второго компонента видны довольно яркие сгущения, у которых на рис. 1b выявляются спиральки. Возможно, эти компоненты являются карликовыми галактиками, спутниками второго компонента. Объект на южной спирали ярчайшей галактики системы, вероятно, звезда. Размер системы с севера на юг составляет 73 кпс (по первому изоуровню от фона).

Наиболее загадочна природа прямолинейного компонента, расположенного под углом 115° к основной оси системы. Если считать, что он является компонентом системы, то его размер будет составлять $\sim 80 \text{ кпс}$, что превышает размеры самых гигантских галактик. Если считать, что это спиральная галактика, которая проектируется на VV 243, как это предполагается в [4], тогда должна быть хорошо различима фрагментация в спиралях и увеличение яркости в ядерной области. Результаты обработки показывают (рис. 1b), что присутствуют только две градации плотности, полученные через $0.05 D$, и три сгущения, а на рис. 1с, где должны были выделяться мелкие детали и сгущения при данном ($0.1 D$) уровне градаций плотности, детали вообще не выявляются. Из-за существенных размеров этого объекта предположение о том, что он является спиральной галактикой, на которую проектируется VV 243, становится маловероятным. В случае, если прямолинейный компонент принадлежит системе, VV 243 представляет собой группу взаимодействующих галактик, образовавшуюся в результате пролета двух галактик на довольно близком прицельном расстоянии друг от друга. При численном моделировании в [9] были получены подобные конфигурации. В противном случае — это генетически связанная группа взаимодействующих галактик, не представляющая собой цепочку. Окончательно вопрос о принадлежности компонента системе мож-

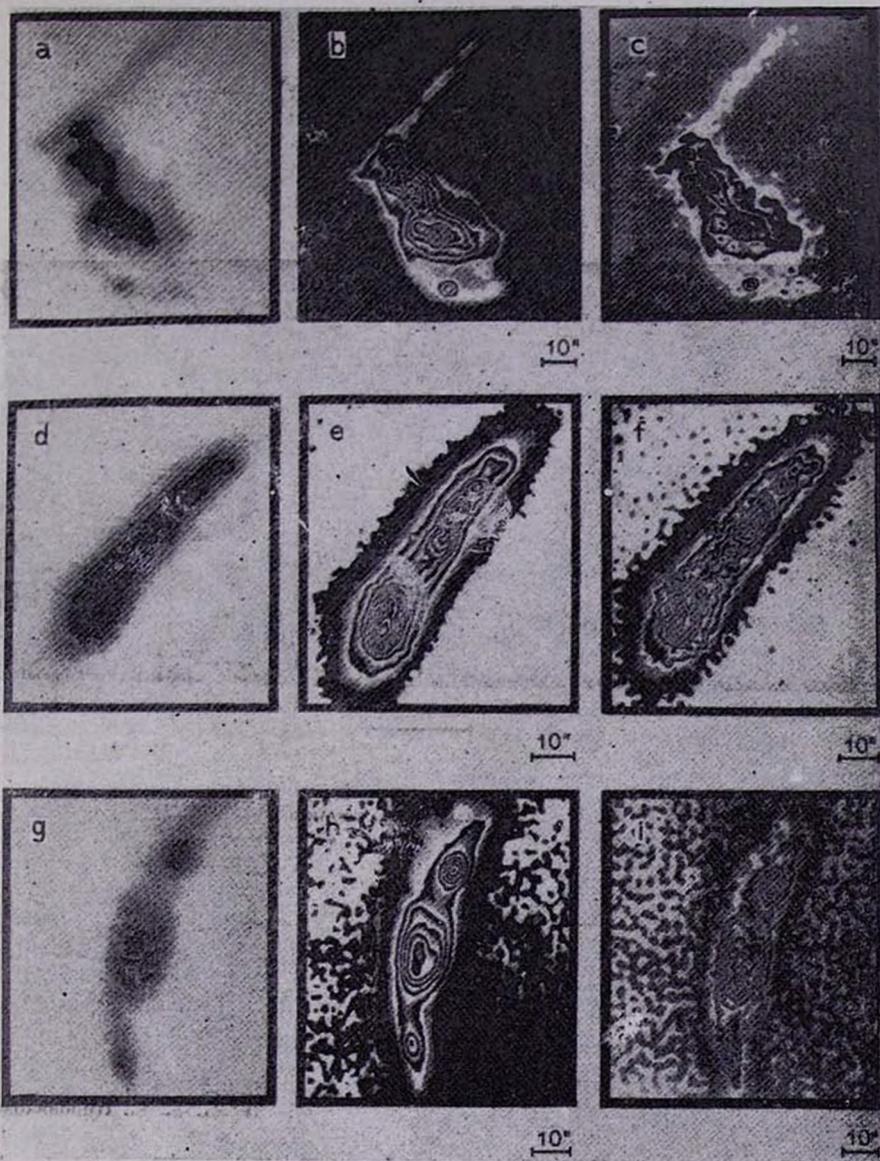


Рис. 1. (Пояснения в таблице).

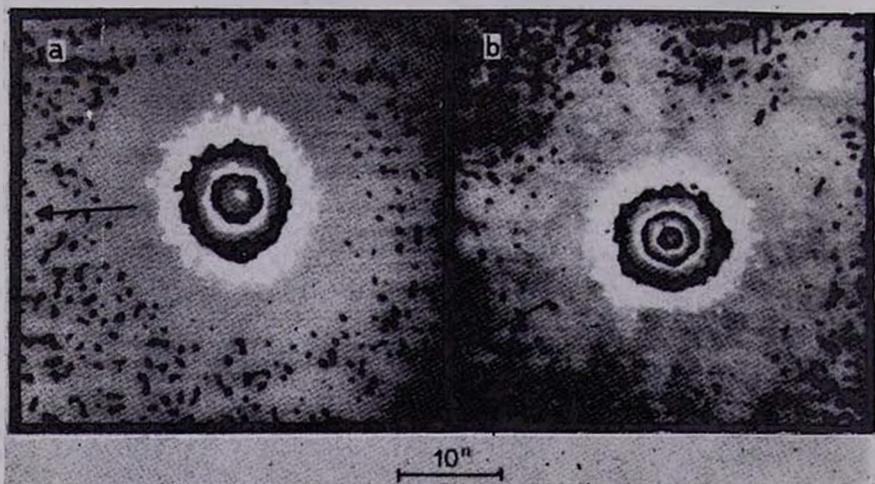


Рис. 2. (Пояснения в таблице).

К ст. А. А. Коровяковской

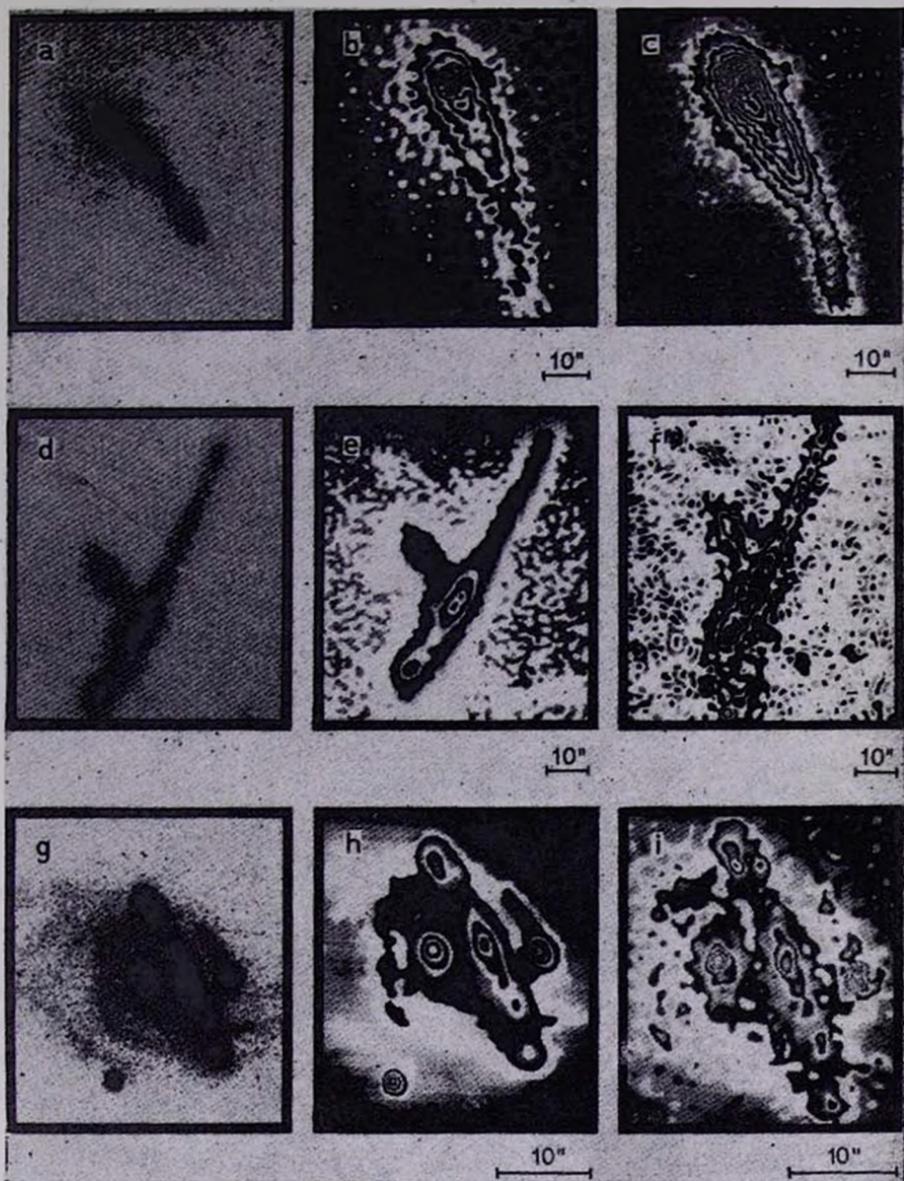


Рис. 3. (Пояснения в таблице).

К ст. А. А. Кервяжковской

но решить после определения его лучевой скорости, хотя из-за малой яркости объекта эта задача трудновыполнима.

4. Система VV 523 (NGC 3991, Aro 5) классифицирована Воронцовым-Вельяминовым как цепочка и подробно исследовалась в [4], где приведены скорости, размеры (при $H = 50$ км/с Мпс) и морфологические особенности этого объекта, где отмечалось, однако, что детальная структура остается неясной. На рис. 1d, e, f представлено прямое, обработанное нами изображение VV 523.

На рис. 1e видно, что самый яркий компонент системы представляет собой двухъядерную структуру, согласно критериям [8]. Яркое сгущение в центре «хвоста» представляет собой группу из четырех довольно ярких членов. Центральный компонент в этой группе имеет двухъядерную структуру. На рис. 1e, f уверенно выявляются еще несколько сгущений, которые существенно слабее пяти названных.

Как указывалось в [4], VV 523 обладает всеми признаками молодости, и вследствие этого можно предположить, что многокомпонентная структура объекта с большой разницей в яркости между компонентами является либо следствием выброса из массивного тела (головы), либо делением его на части. На спектре VV 523, полученном на БТА автором в красной и синей области, линии излучения водорода прослеживаются до H_{α} , даже видны следы H_{β} , присутствуют линии $\lambda\lambda$ 3727+39 [O II], λ 3869 [Ne III], $\lambda\lambda$ 4959—5007 [O III], λ 6548 + 83 [N II], $\lambda\lambda$ 6716+31 [S II]. Показатель цвета, приведенный в [4], составляет $U - B = 0.32$. Все эти признаки указывают на присутствие газа и интенсивное звездообразование в VV 523.

По изоденсам можно определить размеры и расстояния между компонентами в проекции на картинную плоскость. Скорости этого объекта определены в [1, 2]. Используя более поздние данные [2], можно оценить расстояние до VV 523, которое оказывается равным ~ 42 Мпс. Размер объекта, считая по второму от уровня фона изоуровню, составляет $70''$ или 16.5 кпс. Главный компонент имеет размер 3.8 кпс (измерения проведены по первому необщему изоуровню). В группе из четырех членов размер двухъядерного компонента составляет 2.1 кпс, одиночного, более крупного — 1 кпс, размер остальных — меньше одного килопарсека. Расстояние между центрами яркости ярчайшего компонента и 4-компонентного спутника составляет 6 кпс.

Все члены группы имеют эллиптическую структуру. По всей вероятности, VV 523 представляет собой реально существующую цепочку галактик, а не двойную галактику [12].

5. Морфология VV 470 подробно ранее не исследовалась. Прямая фотография приведена в [3]. Воронцов-Вельяминов классифицировал этот

3—682

объект как взаимодействующие типа М 51. Группа состоит из трех компонентов, расположенных почти на прямой линии. Нами было получено изображение этого объекта на БТА и обработано фильтром низкой частоты и оптимальным (рис. 1g, h, i). Центральный компонент VV 470, по-видимому, представляет собой спиральную галактику, видимую под большим углом к картинной плоскости. Два других компонента имеют эллиптическую структуру. Градиент плотности одного из них существенно больше, чем у центральной галактики. В системе VV 470 наблюдаются явные признаки взаимодействия. Центральная галактика имеет одну спираль, более мощную. Кроме того, от яркого компонента отходит изогнутый хвост, образующий угол 30° с продолжением спирали центральной галактики, хорошо заметной на рис. 1i, на конец которой спутник проектируется. Все это служит признаком гравитационного взаимодействия галактик с малым прицельным расстоянием [9].

На рис. 1h, 1i наблюдаются три сгущения, расположенные почти на прямой линии в ядерной области центральной галактики, что свидетельствует либо о существовании перемычки, либо о многоядерной структуре.

VV 470 — довольно яркий, протяженный объект, размер которого, взятый по второй относительно фона изоденсе (рис. 1h), составляет $96''$. Угловой размер центральной галактики, измеренный по первой необщей изоденсе, составляет $32''$, яркого спутника — $16.5''$.

Исследование морфологии VV 470 показало, что направление спиралей и «хвостов» в системе делают сомнительным заключение об этой системе как о «М 51 вдвойне» [10]. Скорее всего здесь реализуется взаимодействие в виде пролета яркого эллиптического компонента (на рис. 3g сверху) на близком прицельном расстоянии от спиральной галактики со спутником — слабым компонентом (на рис. 3g внизу).

6. Система VV 391 имеет кометообразную форму. В [11] исследовался спектр этого объекта, при получении которого щель была направлена вдоль большой оси. Оказалось, что в спектре наблюдаются линии поглощения водорода, причем они очень интенсивные, как в «голове», так и в «хвосте» галактики. Кометообразную структуру Саргент объясняет взаимодействием VV 391 с двумя N-галактиками [11].

Для выявления признаков взаимодействия нами были просканированы обе N-галактики (рис. 2a, 2b) и VV 391 (рис. 3a, b, c). На рис. 2a, 2b направление на VV 391 указано стрелками. Как видно из рисунков, даже самые внешние изоденсы галактик не искажены, следовательно прицельное расстояние при пролете, если таковой имел место, не могло быть малым. Однако искажение изоденс глубоких слоев у VV 391, если оно имеет приливную природу, можно объяснить взаимодействием на очень близком прицельном расстоянии. Как показали расчеты [9], в результате приливного

взаимодействия на поздней стадии образуются в большинстве случаев противоположно, в то время как у VV 391 «хвост» направлен в сторону N-галактик. О малой вероятности приливного взаимодействия говорит и тот факт, что при большом прицельном расстоянии в результате взаимодействия искажаются только внешние слои галактики, в то время как у VV 391 искажения наблюдаются в глубоких слоях. Противоречивость наблюдаемых явлений показывает, что приливного взаимодействия между N-галактиками и VV 391 не существует.

По измерениям [11] скорость VV 391 составляет 9867 км/с. По красному смещению находим расстояние до системы 132.6 Мпс. Угловой размер системы составляет 66", что в линейной мере соответствует 42 кпс (измерения приведены по второй изоденсе от уровня фона). Линейный размер «головы» равен 12 кпс. Расстояние между центрами яркости ближайшей в картинной плоскости N-галактики и VV 391 составляет около 65 кпс. На таком расстоянии гравитационное взаимодействие не должно существенно сказываться.

На рис. 3а, б, с приведено прямое и обработанное фильтрами низкой частоты и оптимальным фотоизображение VV 391. На пластинке с исходным изображением имеется дефект, который отчетливо виден на рис. 3б, 3с, на самом плотном участке фотоизображения (вверху, слева). Изоденсы показывают, что VV 391 имеет яркое ядро, которое плотнее уровня фона на 1.65 D. Искажение изоденс в направлении большой оси начинается с уровня 1.1 D над уровнем фона неба. Вероятно «хвост» является следствием направленного мощного взрыва в галактике. Присутствие линий поглощения водорода можно связать с наличием вокруг VV 391 мощного гало. Из-за большой оптической толщины газа мы не видим излучения, идущего из горячих областей, которое в «голове» и «хвосте» VV 391 может быть разной природы, но оно, вероятно, является причиной возбуждения атомов водорода.

7. Система VV 489 отнесена Воронцовым-Вельяминовым к классу цепочек. Фотоизображение ее помещено в [3]. Скорости не измерялись. Наши исследования морфологии этого объекта показали, что он имеет сложную структуру, состоящую из нескольких компонентов. На рис. 3д, е, ф приведены прямое и обработанное фотоизображение VV 489. Из рисунков видно, что градиент плотностей у компонентов не очень высокий. Центральное, наиболее яркое тело имеет двухъядерную структуру и, возможно, небольшие спирали. Слева от этой галактики находится маленькое яркое сгущение, хорошо заметное на рис. 3г, которое, вероятно, является звездой. Выше и слева от него (на рисунке) расположен больших размеров аморфный компонент, который на первый взгляд несомненно принадлежит VV 489, но изоденсы двухъядерной галактики не искажены со сто-

роны этого компонента, что дает основание предположить, что аморфный компонент является галактикой фона, которых около VV 489 достаточно много, поэтому вероятность такой проекции довольно большая. Галактикой фона, возможно, является и трехкомпонентная галактика, расположенная внизу на рис. 3f. Слева от нее звездообразный компонент — дефект на пластинке. В гравитационном взаимодействии находятся, вероятно, только компоненты, которые располагаются на одной прямой. Ниже и слева от двухъядерной галактики находится довольно яркая, эллиптической структуры галактика. Выше и справа есть еще не менее трех компонентов. Для более уверенного отнесения того или иного компонента к системе VV 489 необходимо знать лучевые скорости для каждого из них в отдельности. Угловые размеры группы велики и составляют $78''$ (измерения проведены по второй изоденсе от фона неба). Расстояние между центрами яркости двухъядерной галактики и яркой эллиптической в угловой мере составляет $17''$, размер слабого протяженного объекта, лежащего на большой оси, примерно $11''$.

Поскольку вокруг VV 489 много фоновых галактик, то вполне вероятно, что из числа пяти компонентов, лежащих на одной прямой линии в картинной плоскости, тоже есть фоновые. Кроме того, структура галактик в группе довольно разнообразная, что едва ли можно наблюдать в реальной запечке. Скорее всего, VV 489 представляет группу взаимодействующих галактик, видимую с ребра.

8. Фотоизображение VV 551 приведено в [3] и классифицирована там эта группа галактик как голубое гнездо, состоящее из 4—5 членов. Нами получено фотоизображение в первичном фокусе БТА при хорошем качестве изображения (рис. 3g), которое было оцифровано и обработано. Из рисунков видно, что одна галактика системы с хорошо развитыми многочисленными спиралями, плоскость которой располагается почти в картинной плоскости, находится на более близком расстоянии к наблюдателю и экранирует вторую, тоже спиральную, видимую с ребра. В спиралях ближней галактики происходит поглощение света дальней галактики. Третий объект с большим градиентом яркости — вероятно, звезда. Градиент плотности этого объекта совпадает с градиентом плотности звезды, внизу слева от VV 551.

Ж. Булистекс с коллегами (частное сообщение) определил по линиям H_2 , N, S значение лучевой скорости для VV 551, равное 9080 км/с с точностью 300 км/с. Цель располагалась вдоль ярких сгущений. Отдельно для каждого компонента скорости определены не были. Однако в [2] было отмечено, что эмиссия у этого объекта отсутствует. На французском счетчике фотонов с учетом красного смещения по нашей просьбе было проведено наблюдение VV 551 в области H_α (6710) с шириной фильтра 130° \AA .

Звездообразный компонент оказался в этих лучах существенно слабее обеих галактик, за исключением спиралей ближней галактики. Скорее всего VV 551 представляет собой две взаимодействующих спиральных галактики, а не гнездо из 3—5 членов. Расстояние до объекта составляет 121 Мпс. Оценки размеров компонентов дают следующие результаты. Спиральная галактика, видимая с ребра, вдоль большей оси имеет размер (по второму изобразению по отношению к фону) 17 кпс. Ядерная область ближней галактики по большей оси составляет 5.9 кпс. Максимальный размер системы в области H_α примерно 20 кпс.

9. *Заключение.* Из рассмотренных здесь групп галактик только VV 523 может представлять собой реальную цепочку. Следовательно, при детальном изучении морфологии «цепочек» галактик и спектров их компонентов может оказаться, что реальных цепочек наблюдается незначительное количество. Это хорошо согласуется с тем, что цепочки — гравитационно неустойчивые образования, с малой продолжительностью жизни, поэтому среди взаимодействующих галактик должны составлять незначительную долю.

В заключение считаю своим долгом поблагодарить Ю. П. Коровяковского и М. Ф. Шабанова за помощь в наблюдениях, В. Г. Горбацкого и Ю. П. Коровяковского за интерес к работе и полезные обсуждения.

Специальная астрофизическая
обсерватория АН СССР

INVESTIGATION OF MORPHOLOGICAL PROPERTIES OF 6 INTERACTING GALAXIES. I

A. A. KOROVYAKOVSKAYA

The morphology of six groups of interacting galaxies from the B. A. Vorontsov-Vel'aminov atlas is investigated with the help of digital filtering methods from the large-scale photographs obtained with the BTA. It has been shown that only one among five groups of galaxies which could be considered as chains is, apparently, a real chain. Only two spiral galaxies are detected in the VV 551 group classified earlier as a blue nest consisting of 4—5 members.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. А. Воронцов-Вельяминов, Письма АЖ, 5, 502, 1979.
2. V. L. Afanásiev, I. D. Karachentsev, V. P. Arkhipova, V. A. Dostal, V. G. Mel'lov, *Astron. Astrophys.*, 91, 302, 1980.
3. B. A. Vorontsov-Vel'aminov, *Astron. Astrophys.*, 28, 3, 1977.

4. Б. А. Воронцов-Вельяминов, Письма АЖ, 2, 15, 1976.
5. Б. А. Воронцов-Вельяминов, Письма АЖ, 5, 499, 1979.
6. А. А. Коровяковская, Ю. П. Коровяковский, Астрон. ж., 59, 160, 1982.
7. О. С. Буренкова, В. П. Горошков, В. М. Гурин, А. А. Коровяковская, Ю. П. Коровяковский, А. Ф. Назаренко, И. И. Назаренко, В. С. Шергин, Изв. САО (в печати).
8. Ю. П. Коровяковский, А. Р. Петросян, К. А. Саакян, Э. Е. Хачикян, Астрофизика, 17, 231, 1981.
9. А. А. Коровяковская, Ю. П. Коровяковский, Изв. САО (в печати).
10. В. А. Vorontsov-Velyaminov, Symposium No. 79, IAU, Tallin, 1977.
11. V. L. V. Sargent, Ap. J., 180, 405, 1970.
12. И. Д. Караченцев, Сообщ. САО, 7, 3, 1972.