

# АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

# АСТРОФИЗИКА

ТОМ 16

АВГУСТ, 1980

ВЫПУСК 3

УДК 523.855

ОБЗОРЫ

## РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Г. М. ТОВМАСЯН

Поступила 9 января 1980

Представлены результаты детального исследования внегалактических радиоисточников.

В сороковых годах, на заре развития радиоастрономии, английскими и австралийскими радиоастрономами были открыты дискретные радиоисточники малых угловых размеров [1, 2]. Вскоре некоторые из них были отождествлены с галактиками, чем и было установлено существование нового класса внегалактических объектов, имеющих мощное радиоизлучение и названных радиогалактиками. На примере туманности Андромеды было показано также, что сравнительно слабым радиоизлучением обладают и обычные спиральные галактики [3]. Затем, благодаря более точному определению координат радиоисточников, были открыты квазары [4] — объекты, до сих пор поражающие воображение неимоверной мощностью своего излучения и малыми линейными размерами.

Открытие радиогалактик привело, в свою очередь, к открытию В. А. Амбарцумяном [5—7] явления активности ядер галактик, играющего, по всей видимости, важнейшую роль в деле формирования и эволюции галактик.

В последние годы применение, главным образом, синтезированных радиотелескопов и радиоинтерферометров со сверхдлинными базами с весьма высоким угловым разрешением, а также использование малощумящих радиоприемных устройств позволило получить очень интересные данные о радиоизлучательных свойствах радиогалактик, квазаров и нормаль-

ных галактик. Накопление таких данных и их всестороннее изучение могут помочь выяснению природы этих объектов.

Ниже приводится краткий обзор наблюдений внегалактических радиосточников, выполненных в последние годы.

1. *Структура радиогалактик и квазаров.* Еще в 1953 г. Р. Дженнисон и М. Дас Гупта [8] с помощью интерферометрических наблюдений с переменной базой показали, что один из наиболее ярких радиосточников неба, Лебедь-А, является двойным. Размеры компонентов оказались около 30—40", расстояние же между ними — около 1'.5. Почти в середине между компонентами находится галактика, отождествленная с этим радиосточником. Позднее, наблюдениями С. Миттона и М. Райла [9], выполненными на частоте 5 ГГц с помощью одномильного радиотелескопа, работающего по методу апертурного синтеза, было показано, что каждый компонент состоит из компактной области с высокой поверхностной яркостью и протяженных областей низкой поверхностной яркости, вытянутых по направлению к галактике. На частотах ниже 200 МГц протяженные области тянутся до самой галактики. Как было показано Г. Сварупом и др. [10], спектр перемиčky заметно более крутой, чем спектр всего радиосточника в целом.

После установления двойственности Лебедя-А было обнаружено [11, 12], что двойным является и самый яркий радиосточник южного неба, Центавр-А, отождествленный с эллиптической галактикой пекулярного вида с широкой и мощной полосой поглощения.

Как потом выяснилось, не было случайностью то, что два наиболее мощных радиосточника неба оказались двойными. Поздние наблюдения выявили, что двойную структуру имеют многие внегалактические радиосточники. Еще в 1968 г. Г. Макдоналдом и др. [13] было показано, что одиночные радиосточники составляют менее 15% всех исследованных радиосточников. Подавляющее большинство радиосточников (~ 80%) оказались двойными. Из сравнения структуры радиосточников на двух частотах (408 и 1407 МГц) следовало, к тому же, что лишь у небольшого числа радиосточников структура не меняется с частотой. Структура на более высокой частоте оказывается обычно более сложной. Неодинаковы спектры компонентов. Более далекий от отождествляемого оптического объекта компонент имеет, обычно, более крутой спектр. Перемиčky, соединяющие компоненты в двойных и сложных радиосточниках, как и в случае Лебедя-А, имеют обычно более крутые спектры. Плотности потоков компонентов около 45% радиосточников одинаковы с точностью до 25%. В случае же около 25% двойных радиосточников плотности потоков компонентов отличаются более, чем в два раза.

Согласно исследованию Э. Фомалонта [14], двойные радиисточники с приблизительно одинаковыми угловыми размерами составляют около 34% всех радиисточников. Между тем, двойные радиисточники с неодинаковыми размерами компонентов составляют всего около 13%. Сложные радиисточники, состоящие из трех и более компонентов, составляют около 27%. В некоторых сложных радиисточниках удается выделить два основных компонента, как в обычных двойных, с наличием, однако, ряда других структурных деталей. Вообще же сложный радиисточник состоит из трех или более компонентов близкой радиосветимости, расположенных не всегда вдоль одной прямой. По угловым размерам сложные радиисточники обычно больше двойных радиисточников. Простые радиисточники, состоящие из одного компонента, составляют всего 6%. Радиисточников типа ядро-гало около 20%. Размеры радиоядер меньше 1 кпс, и они совпадают по положению с центрами отождествляемых с ними галактик. Размеры гало порядка 50 кпс. Ярким представителем радиисточников типа ядро-гало является Дева-А (3С 274).

Более поздние наблюдения большого числа радиисточников с лучшим угловым разрешением ( $12'' \times 12'' \text{ cosec } \delta$  на частоте 2.7 ГГц и  $6.5 \times 6.5 \text{ cosec } \delta$  на частоте 5 ГГц), выполненные Н. Брансоном и др. [15], показали, что некоторые из радиисточников, неразрешенных ранее и казавшихся единичными, оказались двойными, что некоторые из двойных радиисточников оказались состоящими из большего числа компонентов, что у некоторых радиисточников оказались большие иррегулярные оболочки.

Следует заметить, что двойными оказываются радиисточники, отождествленные как с радиогалактиками, так и с квазарами. Так, из 114 квазаров, распределение радиояркости которых на частоте 4995 МГц было исследовано Г. Мили и А. Хартзуйкером [16] с помощью Вестерборкского радиотелескопа с синтезированной диаграммой направленности в  $6'' \times 6'' \text{ cosec } \delta$ , 86 были разрешены, причем многие из них имели ярко выраженную двойную структуру.

Наблюдения Лебедя-А, выполненные на различных частотах с высоким угловым разрешением [17—21], позволили разложить оба компактных компонента этого радиисточника на отдельные составляющие с размерами порядка  $1''$ , названных горячими пятнами. Как показали наблюдения [22—25], выполненные на вступившем в строй в 70-х годах в Кембридже 5-км радиотелескопе с угловым разрешением в  $2'' \times 2'' \text{ cosec } \delta$  на частоте 5 ГГц, такую же структуру имеют и компоненты многих других двойных радиисточников. По данным В. Капаи и Р. Шилиззи [26], угловые размеры горячих пятен  $\lesssim 0.1$ .

Согласно С. Дженкинсу и М. МакЭллину [25], доля плотности потока, испускаемого горячими пятнами, пропорциональна плотности радио-

светимости радиосточника, так что весь поток от наиболее интенсивных радиосточников обусловлен горячими пятнами. Как заметил, однако, В. Капан [27], это, главным образом, является результатом наблюдательной селекции — в случае более удаленных радиосточников весь наблюдаемый поток от них приписывается плохо разрешенным горячим пятнам.

Наблюдения 100 радиосточников Дж. Бродериком и Дж. Кондоном [28] на частоте 430 МГц показали, что почти все радиосточники с плоским спектром ( $\alpha < 0.5$  при  $S \sim f^{-\alpha}$ ) являются компактными, не разрешенными при использованной базе радиоинтерферометра в  $3.5 \cdot 10^6 \lambda$ , тогда как радиосточники с крутыми спектрами имели измеримые угловые размеры.

Сравнение структуры ряда радиосточников на частотах 81.5 МГц и 5 ГГц, выполненное М. Скоттом [29], не обнаружило существенных различий. Было замечено, однако, что детали радиосточников с размерами  $\geq 2''$  имеют вообще более крутые спектры, чем детали меньших размеров. Полагается, что это различие обусловлено, возможно, синхротронным самопоглощением в более компактных компонентах, хотя в некоторых случаях оно может быть результатом синхротронных потерь в более протяженных областях.

В 1974 г. П. Харгрейв и М. Райл [19] обнаружили в Лебеде-А слабый радиосточник, совпадающий по положению с ядром самой галактики. Согласно К. Келлерманну и др. [30], размеры центрального радиосточника равны  $1.5 \times 3.5$  пс (при  $H = 50$  км/с · Мпс), причем он вытянут вдоль линии, соединяющей два разнесенных компонента.

Наблюдения Г. Хогга и др. [31] показали, что центральный радиосточник в близкой к нам радиогалактике Дева-А состоит из трех компонентов (на что ранее указывали Ю. Н. Парийский и Г. М. Тимофеева [32]), один из которых эллипсоидальный, с размерами  $70'' \times 30''$ , в котором сосредоточено 90% излучения, и двух неразрешенных (при диаграмме направленности использованного телескопа  $8'' \times 11''$ ) компонентов с плотностью потока около 3.4 Ян. Один из них совпадает по положению с оптическим ядром галактики, а второй расположен между двумя наиболее яркими сгущениями известной оптической струи этой галактики. Как было показано интерферометрическими наблюдениями со сверхдлинными базами [33, 34], размеры ядерного компонента около  $0.''001$ . Согласно же И. Грехему [35], и центральный источник состоит из двух компонентов с размерами  $\sim 0.''5$  и  $\sim 0.''003$ , совпадающими с оптическим ядром. При этом, согласно [35], спектр меньшего компонента имеет, по-видимому, завал на частоте около 1 ГГц, по причине чего этот компонент не был обнаружен при низкочастотных наблюдениях Н. Бротена и др. [36].

Наблюдения Н. Брансона и др. [15] показали, что ядерные компоненты имеются у целого ряда радиисточников, причем спектр этих компонентов относительно более плоский.

Наблюдения [37—39] показали, что размеры компактных радиисточников, совпадающих с ядрами радиогалактик и квазаров, порядка 0.1—10 пс. Наличие таких ядерных компонентов является, очевидно, характерным для всех радиогалактик и квазаров. Об этом свидетельствует тот факт, что компактные радиисточники были обнаружены в 12 из 17 радиогалактик, расположенных на расстоянии до 300 Мпс, и уже в 8 из 10 радиогалактик, расположенных на расстоянии до 150 Мпс [37]. Обнаружение компактного компонента с размерами  $\lesssim 80$  пс в ядре радиогалактики NGC 1316. Б. Гелдзахлером и Э. Фомалонтом [40] показало, что компактные радиокомпоненты имеются в ядрах всех десяти ближайших радиогалактик и девяти из десяти ярчайших радиогалактик с двойной структурой. И весьма примечательно, что спектры ядерных компонентов во всех случаях плоские или даже инвертированные. А такой спектр, как известно, является свидетельством молодости данного радиисточника.

Наблюдения показали [41], что максимальные линейные размеры радиогалактик и квазаров с малыми красными смещениями порядка 500 кпс. И только в последние годы были обнаружены квазары и радиогалактики с размерами около мегапарсека и более [42—44]. Расстояние же между компонентами радиогалактики NGC 6251 составляет в проекции на небо даже 3 Мпс [45].

Обратив внимание на то обстоятельство, что отождествляемые с двойными радиисточниками радиогалактики и квазары не находятся точно в середине между компонентами соответствующих радиисточников и что близкий к отождествляемому объекту компонент почти всегда интенсивнее, М. Райл и М. Лонгейр [46] приходят к весьма важному выводу с том, что компоненты радиисточников выбрасываются в противоположных направлениях из ядер отождествляемых с ними галактик и квазаров с релятивистскими скоростями. Позднее, на основе более полных статистических данных, К. Маккей [47] показал, что скорость удаления радиоизлучающих облаков от родительской галактики несколько меньше и находится, в среднем, в пределах 0.03—0.08 с. Это является веским подтверждением концепции В. А. Амбарцумяна об активности ядер галактик.

Интересные результаты были получены К. Лари и Г. Перолой [48], исследовавшими двойные радиисточники в скоплениях галактик и вне них. Они указывают, что если вне скоплений галактик более половины радиисточников имеют четкую двойную структуру, то такой структурой в скоплениях галактик обладают менее 20% радиисточников. В то же время линейные размеры тех и других групп радиисточников мало отличаются друг от друга [48—50]. Радиисточники же с более сложной струк-

турой показывают обратную картину — таковых больше в скоплениях (35%), вне скоплений их меньше (10%). Если же двойные радионисточники рассматривать вместе с радионисточниками со сложной и иррегулярной структурой, то их относительное количество в скоплениях галактик и вне них оказывается почти одинаковым. Создается впечатление, как отмечают К. Лари и Г. Перола [48], что «утерянные» в скоплениях двойные радионисточники проэволюционировали там в радионисточники с более сложной структурой. Изменения в их морфологии могли произойти, очевидно, под динамическим воздействием на них сравнительно плотного межгалактического газа. Яркой иллюстрацией этого являются, так называемые, радионисточники «голова-хвост» или «радиохвостатые» радионисточники, обнаруженные впервые М. Райлем и М. Уиндрамом [51] в скоплении галактик Персея. Это были радионисточники, отождествленные с галактиками NGC 1265 и IC 310 и имеющие вид хвостов или шлейфов, волочащихся за галактиками. Исходя из того, что оба «хвоста» вытянуты в направлении, обратном направлению к центральной галактике скопления, являющейся известной радиогалактикой Персей-А (NGC 1275), М. Райл и М. Уиндрам высказали предположение, что эти хвосты индуцированы потоком заряженных частиц, выбрасываемых из радиогалактики NGC 1275. Позднее Г. Мили и др. [52], рассмотрев новые данные об этих и двух других радиохвостатых галактиках [53, 54] и выполнив новые наблюдения с высоким угловым разрешением, показавшим, что радиохвосты имеют двойную структуру, предположили, что радиохвостатые галактики являются обычными двойными радиогалактиками, движущимися с относительно большой скоростью через межгалактическую газовую среду скоплений галактик. Из-за сопротивления газовой среды радионисточные облака тормозятся и отстают в своем движении от родительской галактики и образуют, тем самым, наблюдаемый волочащийся за галактикой радиохвост. Эта гипотеза подтверждается и спектроскопическими наблюдениями. Согласно Г. Кинкарини и Х. Руду [55], дисперсия радиальных скоростей в скоплении Персея равна 1600 км/с (наибольшая из известных), а радиальная скорость одной из галактик с радиохвостом, NGC 1265, отличается от средней радиальной скорости скопления на 2200 км/с.

В последующем было обнаружено еще несколько радиогалактик с радиохвостами [56—59], причем не только в богатых скоплениях галактик, но и в нескольких достаточно бедных скоплениях [60, 61].

Л. Рудник и Ф. Оуэн [58] отмечают, что радиохвостатые галактики, в отличие от обычных радиогалактик, не являются ярчайшими членами скоплений галактик. Они либо сильно уступают по яркости ярчайшему члену, либо же являются одним из ярких членов, когда есть несколько таких галактик в скоплении (тип II по Баутцу—Моргану).

Другим проявлением активности ядер галактик является наличие у них выбросов и струй, наподобие струн у М 87. Еще в 1954 г. В. А. Амбарцумян [62] указывал, что решение проблемы происхождения радиогалактик нужно искать именно на примере этой радиогалактики. Радиоаналог оптической струи М 87, имеющей светимость порядка светимости галактических ядер, был исследован Ж. де Вокулером и др. [63] в 1968 г. и затем более детально Б. Турландом [64]. Как выяснилось позднее, струя у М 87 не является уникальной. Аналогичные струи были обнаружены у радиогалактик 3С 66В [65, 66], 3С 219 [67]. Очень узкая и длинная радиоизлучающая струя, исходящая из ядра радиогалактики NGC 6251, была обнаружена недавно А. Редхедом и др. [68]. Струя вытянута в том же направлении, что и известная ранее струя длиной 200 кпс. Это направление совпадает также с направлениями линии, соединяющей два внешних компонента радиисточника, расположенных на расстоянии 3 Мпс друг от друга.

С. Симкин и Р. Икерс [69] сообщают об обнаружении оптической и радиоструй, исходящих из ядра радиохвостатой галактики NGC 7285 в направлении, обратном радиохвосту\*.

2. *Переменность внегалактических радиисточников.* Характерной особенностью ряда радиогалактик и квазаров является переменность их радиоизлучения, впервые наблюдавшаяся В. Дентом [70] в случае квазара 3С 273. Последовавшие за этим открытием наблюдения показали, что переменное радиоизлучение более часто обнаруживается у очень компактных радиисточников, отождествленных, в основном, с квазарами или галактиками, содержащими яркие, компактные ядра. В последующем были организованы специальные длительные наблюдения большого количества таких радиисточников с целью обнаружения переменности их радиоизлучения [71—74]. Временная шкала переменности весьма разнообразна — изменения интенсивности у различных радиисточников происходят за время от нескольких суток до нескольких лет. У ряда радиисточников были обнаружены и более быстрые изменения за время меньше суток, наблюдаемые как в оптических лучах, так и в радиодиапазоне [75—79]. Переменность радиоизлучения сильнее проявляется в области все более коротких длин волн и почти незаметна уже на длине волны 40 см. Очень слабая переменность некоторых радиисточников была обнаружена и на длинах волн около 75 см [80—83].

\* Недавно Г. Батчеру, В. ван Бройгелю и Г. Мили [233], применившим оригинальную технику обработки фотографий с помощью ЭВМ, удалось обнаружить оптические струи, исходящие из ядер радиогалактик 3С 66В, 3С 31, NGC 315 и 3С 449 и направленных к радиоизлучающим облакам.

Наблюдения последних лет указали на существование определенной зависимости между спектром и переменностью радиоисточников — сильной переменностью обладают радиоисточники с плоскими спектрами и спектрами с положительной кривизной [84—85]. По данным Дж. Кондона и др. [83], переменность на частоте 318 МГц не была обнаружена у радиоисточников с крутым спектром ( $\alpha \geq 0.5$ ), в то время как переменными оказались около 25% радиоисточников с плоским спектром ( $\alpha < 0.5$ ). Попытка обнаружения переменности сравнительно большого числа радиоисточников с крутыми спектрами была предпринята В. Коттоном [86]. Было показано, что переменными являются всего около 2% исследованных радиоисточников.

Как выяснилось, излучение большинства переменных радиоисточников оказалось поляризованным, причем степень поляризации уменьшается при переходе к коротким длинам волн. И поскольку переменный компонент обычно усиливается на коротких длинах волн, то Р. Аллен и др. [87] заключили, что радиоизлучение этого компонента переменных радиоисточников не поляризовано и что поляризован, следовательно, компонент с неизменяющейся радиосветимостью. В то же время наблюдения Г. Аллера и Ф. Хэддока [88] показали, что небольшие изменения как степени, так и позиционного угла поляризации излучения радиоисточников 3С 273, 3С 279 и 3С 345 происходят при изменениях их полного потока. Это говорит о том, что должен быть поляризован и переменный компонент и что в переменных радиоисточниках должно быть упорядоченное магнитное поле.

Наблюдения переменных радиоисточников с помощью радиоинтерферометров со сверхдлинными базами показали, что переменные радиоисточники имеют очень малые угловые размеры или содержат в своем составе компоненты малых угловых размеров — порядка миллисекунд дуги или даже меньше. Из 32 переменных радиоисточников, наблюдавшихся Дж. Губеем и др. [89], компоненты с размерами  $\approx 0.''001$  были обнаружены у 27. В то же время компоненты таких же малых угловых размеров были обнаружены только у 4 из 21 радиоисточника, переменность потока которого не установлена.

К. Келлерманом и И. Паулини-Тоттом [90, 91] была разработана простая модель переменных радиоисточников, представляемая расширяющимся, в результате взрыва, облаком релятивистских электронов, оптически толстым на начальной фазе расширения на некоторой частоте. В результате расширения напряженность магнитного поля и энергия электронов убывают, и облако становится оптически тонким на все более меньших частотах. На частоте, на которой расширяющийся компонент все еще оптически толст, плотность потока будет увеличиваться. В оптически тонкой же области спектра плотность потока будет убывать так, как было пока-

зано И. С. Шкловским [92] для случая расширяющихся остатков сверхновых. Однако Д. Алтшулер и Дж. Уордл [85], исследовавшие большое количество переменных радиоисточников, указывают на значительные расхождения наблюдений с этой простой моделью. Они указывают, что при вспышке интенсивность возрастает заметно медленнее и убывает намного быстрее, чем ожидается по модели. Вспышки не имеют ожидаемых значений спектральных индексов. Они на длинных волнах происходят с большими амплитудами и с намного меньшими задержками во времени, чем следует из модели. Не удовлетворяют модели и наблюдаемые данные о поляризации излучения источников и ее изменениях. На другие примеры вспышек, также не соответствующие модели, указывалось в работах [71, 93, 94].

Дж. Кондон и др. [83] полагают, что переменность можно объяснить релятивистским расширением радиоисточников, в которых происходит некогерентное синхротронное излучение электронов. Этой моделью, однако, трудно объяснить, например, весьма быстрые изменения плотности потока радиоисточника 3С 454.3 [83].

3. *Сверхсветовое расширение.* Кроме изменений интенсивности радиоизлучения, у некоторых внегалактических радиоисточников происходят весьма примечательные изменения структуры, не нашедшие еще полностью приемлемого объяснения. Сравнение изменений полного потока от квазара 3С 273 с изменениями потока от его неразрешенного компонента ( $< 0.002$ ) привело Дж. Губбея и др. [95] к выводу, что этот радиоисточник расширяется с видимой сверхсветовой ( $v/c \leq 2$ ) скоростью. Этот вывод вскоре был подтвержден непосредственными измерениями угловых размеров с помощью радиоинтерферометров со сверхдлинными базами [96—98], указавшими на сверхсветовое расширение и другого квазара — 3С 279.

К настоящему времени уверенные данные по видимому сверхсветовому расширению получены для радиоисточников 3С 345 [99—101], 3С 273 [102—104], 3С 120 [102, 105—107], 3С 279 [108, 109]. Видимые скорости расширения у них оказались от 4 с до 10 с. В случае 3С 345 наблюдениям удовлетворяет простая двухкомпонентная модель. Радиоисточник 3С 120 интерпретируется М. Коэном и др. [106] как состоящий из двух пар компонентов с независимыми расширениями со скоростями 5 с и 8 с. В случае 3С 279 наблюдения К. Келлерманна и др. [108] указывают как будто на начало расширения в 1972 г. новой пары компонентов. Не исключена, однако, вероятность того, что в этом случае наблюдался двойной радиоисточник. Простой двухкомпонентной моделью не удастся представить 3С 273 [102]. В случае 3С 345 вместе с началом расширения в 1966 г. за два года почти вдвое увеличился и поток излучения. Это, по всей видимости, говорит о том, что разлет компонентов обусловлен взры-

вом, приведшим к росту потока. И в случае ЗС 120 начало наибольшей вспышки интенсивности радиоизлучения (середина 1972 г.) совпадает по времени с началом расширения первой пары источников. Расширение второй пары источников здесь началось в начале 1974 г., однако оно явно не сказалось на полном потоке излучения.

М. Коэн и др. [106] указывают, что сверхсветовое расширение наблюдается в области сантиметровых длин волны приблизительно у половины сильных ( $S_{3,8} \geq 10$  Ян) компактных радиоисточников, что означает, что это явление не является экзотическим, а, по-видимому, характерно для многих компактных радиоисточников. При расширении со сверхсветовой скоростью общие размеры радиоисточников изменяются до 10 раз за 1—2 года. Кроме того, в радиоисточниках со сверхсветовыми скоростями имеет место только систематическое расширение с постоянным при расширении позиционным углом направления разлета компонентов. Иногда у одного радиоисточника наблюдаются две пары компонентов, разлетающихся в том же направлении.

Эти факты исключают, как отмечается в [106], любой механизм, допускающий наряду с расширением и сжатие. Исключаются также эффекты гравитационных линз и явления, связанные с распространением излучения и непрозрачностью среды, поскольку в обоих случаях, в противоречии с наблюдениями, должна наблюдаться зависимость от длины волны. Исключается, очевидно, и вспыхивающая случайным образом система независимых источников, рассмотренная В. Дентом [110].

Для объяснения видимых сверхсветовых скоростей было предложено несколько моделей, однако ни одна из них не удовлетворяет полностью наблюдениям и не была принята.

Одной из первых моделей является модель М. Риса [111], предложенная еще до обнаружения сверхсветовых скоростей для смягчения энергетических требований в случае быстропеременных радиоисточников. Согласно М. Рису, движущийся с релятивистской скоростью объект с лоренцевским фактором  $\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$  может иметь видимую поперечную скорость до  $\gamma v$ . Максимальное значение скорости достигается при движении в направлении, составляющем угол  $1/\sin \gamma^{-1}$  с лучом зрения. По этой модели, однако, весьма трудно объяснить приблизительное равенство интенсивностей компонентов, поскольку на них в сильной степени должен сказаться эффект Доплера.

По модели М. А. Озерного и В. Н. Сазонова [112] наблюдаемые сверхсветовые скорости объясняются при релятивистском движении в противоположных направлениях двух идентичных облаков релятивистских электронов и их одновременном расширении. Модификацию этой модели применительно к ЗС 120 предложил Г. Силстад [113]. Здесь полагается, что выбросы из ядра галактики пар релятивистски движущихся и расши-

рящихся облаков релятивистских электронов происходят, в среднем, через 1—2 года. Между прочим, в этом случае при каждом взрыве освобождается  $10^{51}$ — $10^{52}$  эрг энергии, что порядка мощности взрыва сверхновых. В обоих случаях, однако, необходимо соблюдение ряда искусственных условий для удовлетворения наблюдениям.

Для объяснения видимых сверхсветовых скоростей рассматривался [114] и, так называемый, прожекторный эффект, или эффект светового эха, с помощью которого П. Кудер [115] в свое время объяснил наблюдаемое расширение со сверхсветовой скоростью отражательной туманности, расположенной близ Новой Персея. По этой модели полагается, что наблюдается фронт прохождения в существующей среде возбуждения, вызванного релятивистской ударной волной от центрального тела.

Аналогичная модель, в которой сигнал, движущийся со скоростью, близкой к скорости света, рассеивается соответственно подобранным экраном, рассматривалась Р. Бландфордом и др. [116]. В модификации этой модели, разработанной Д. Линденн-Беллом [117], вспышка в ядре галактики или квазара вызывает возбуждение и излучение удаляющихся от ядра с релятивистскими скоростями объектов. Видимая скорость удаления друг от друга этих объектов получается равной  $2c/\sin\theta$ , где  $\theta$ — угол между лучом зрения и направлением движения радиоизлучающих объектов. Так что видимая скорость разлета не может быть меньше  $2c$ , но может быть сколь угодно большой.

Здесь следует отметить, что для согласования результатов наблюдений со своей моделью Д. Линденн-Белл получает значение постоянной Хаббла, равное  $110 \pm 10$  км/с·Мпс.

Еще одна, довольно привлекательная модель для объяснения сверхсветовых скоростей внегалактических радиоисточников была предложена недавно Р. Эпстейном и Н. Геллер [118]. Эта модель основана на наблюдательных данных о выбросе в противоположных направлениях пары радиоизлучающих облаков из ядер галактик и квазаров [119, 120]. Авторы этой модели указывают, что за движущимся со скоростью  $v < c$  источником энергии (релятивистские электроны и/или магнитное поле) через газовую среду переменной плотности, окружающую ядро галактики или квазара, образуется полость, наполненная частицами и магнитным полем. В областях, где полость расширяется до критического радиуса  $R_c$ , соответствующего оптической толщине, равной 1, поверхностная яркость радиоисточника достигает максимума. Эта яркая область — видимое положение радиообъекта — отстает от положения действительного источника энергии на расстояние  $v_s \tau_{\text{exp}}$ , где  $\tau_{\text{exp}}$ — время, за которое радиус полости достигает значения  $R_c$ . Если объем полости определяется гидродинамическим давлением внешней среды с плотностью  $\rho$ , то, согласно Д. де Янгу и В. Аксфорду [121], скорость расширения пропорциональна

$\rho^{-1/2}$  и  $\tau_{\text{exp}} \sim \rho^{1/2}$ . Поскольку плотность окружающей среды убывает с увеличением расстояния от центра галактики или квазара, то с движением источника уменьшается «отставание» следующей за ним полости — видимое положение радиоизлучающей области пытается настичь источник энергии. Таким образом, видимая скорость радиоисточника становится больше действительной скорости источника энергии. И поскольку видимая скорость обусловлена лишь эффектом фазового запаздывания — ведь запаздывание уярчения радиообъекта больше, когда он погружен в более плотный газ, то, в принципе, могут наблюдаться сколь угодно большие, и при этом, и сверхсветовые скорости.

Р. Эпштейн и М. Геллер подчеркивают, что их модель не зависит от природы источника энергии. Это может быть быстро движущийся конденсированный объект или попросту область, в которой пучок плазмы взаимодействует с газовой средой. Скорость источника энергии может быть порядка нескольких десятых скорости света. Энергия источника с размером в несколько десятых парсека должна быть около  $10^{57}$  эрг. Необходимые плотности газовой среды соответствуют данным наблюдений [122].

4. *Нормальные галактики.* Обнаружение в 1950 г. Р. Хенбери Брауном и С. Хазардом [3] слабого радиоизлучения туманности Андромеды (около  $10^6$  раз менее интенсивного, чем радиогалактика Лебедь-А) показало, что и обычные спиральные галактики имеют радиоизлучение. В отличие от радиогалактик они были названы нормальными галактиками. Применение в последние годы радиотелескопов с высоким угловым разрешением позволило не только обнаружить радиоизлучение от нормальных галактик, но и детально исследовать их радиоструктуру. Особенно детально изучено радиоизлучение ярких галактик М 31 [123—125], М 81 [126, 127], NGC 4631 [128, 129], М 33 [130, 131], М 51 [132, 133], NGC 4258 [134] и др. Ниже приводятся основные результаты наблюдений указанных галактик, а также большого количества других, более слабых галактик.

а) В радиоизлучении некоторых спиральных галактик имеется составляющая в виде диска, совпадающая с оптическим диском галактики. Радиояркость диска обычно уменьшается с удалением от центра галактики. Дисперсия радиояркостей дисков достаточно велика. В ряде случаев спектральный индекс радиоизлучения становится больше при удалении от плоскости галактики.

б) Во многих галактиках наблюдается более или менее сильное радиоизлучение спиральных рукавов. Это радиоизлучение нетепловое, что говорит о том, что оно не является интегральным излучением H II-областей в рукавах.

в) В галактиках NGC 4258 [134], NGC 4631, NGC 2146 и NGC 3079 [129] обнаружены спиральные радиорукава с достаточно высокой поверхностной яркостью, не имеющие оптического аналога. Обсуждая причины появления чистых радиоспиралей, П. ван дер Круит и др. [134] и А. де Бройн [129] приходят к заключению, что они должны быть обусловлены выбросом больших количеств газа из ядер соответствующих галактик со скоростями около 1000 км/с или более. При этом выброс должен быть направленным. Этот вывод подтверждается и некоторыми оптическими данными. Так, пекулярная пылевая полоса, пересекающая центральную область NGC 2146, указывает, что довольно большое количество пыли, а также и газа было перенесено на достаточно большое расстояние над плоскостью галактики. Кроме того, в центральной области галактики имеется большое количество ионизованного газа с достаточно большой дисперсией скоростей [135].

Таким образом, в спиральных галактиках, как и в случае радиогалактик и квазаров, мы встречаемся с очевидной активной деятельностью их ядер, проявляемой, как и в других случаях, во взрывах и инъекции материи.

г) В ряде ближайших спиральных галактик отчетливо наблюдается радиоизлучение отдельных ярких H II-областей. По размерам своих H II-областей и их радиосветимости выделяется M 101 [136]. Размеры H II-областей здесь  $\sim 1$  кпс и почти на порядок превышают размеры H II-областей нашей Галактики. В некоторых H II-областях M 101 электронные плотности достигают значений  $10\text{--}30 \text{ см}^{-3}$ , а массы — около  $10^6 M_{\odot}$ .

д) В галактиках M 101 [137—139], M 33 [140] и NGC 4449 [141] наблюдалось радиоизлучение сверхновых звезд. В то же время попытки обнаружения радиоизлучения около 80 сверхновых в других галактиках, предпринятые А. де Бройном [142] и Р. Брауном и А. Маршером [143], окончились безрезультатно.

е) Одно из первых наблюдений M 31 в 1954 г. [144] указало на наличие у нее радиогало с радиусом около 10 кпс. С тех пор получались весьма противоречивые результаты. Авторы более поздних работ [145, 146] утверждают, что радиогало у M 31 нет. Более определенный положительный ответ о существовании радиогало у спиральных галактик был получен при наблюдении видимых с ребра галактик NGC 4631 [128, 147] и NGC 891 [148, 149]. В случае NGC 4631 радиогало с отношением осей около 0.6 простирается до 12 кпс от плоскости галактики. Радиогало у NGC 891 несколько меньше по размерам.

ж) Современные радиоастрономические средства позволяют наблюдать ядра, сходные с ядром нашей Галактики, до расстояний всего около

10 Мпс. В 1967 г. Г. Пули и С. Кендердайн [150] обнаружили радиодро М 31, на порядок более слабое, чем ядро нашей Галактики. Как было показано позже П. ван дер Круитом [151], ядро М 31 состоит из нескольких компонентов. Затем радиоизлучение ядер наблюдалось у целого ряда близких ярких галактик. Вклад радиоизлучения ядра нормальной галактики в интегральное излучение галактики составляет обычно менее 20%. Спектр нетепловой. Дисперсия мощностей радиоизлучения достаточно большая.

Согласно [152—154], радиоизлучение спиральных галактик довольно определенно зависит от типа центральных областей галактик по бюраканской классификации — радиоизлучение более часто имеют те галактики, у которых наблюдаются оптические признаки активности ядер.

з) По мощности радиоизлучения нормальные эллиптические галактики мало отличаются от спиральных галактик. Но если размеры ядерных радиоисточников большинства спиральных галактик порядка нескольких сотен парсеков, то размеры почти всех радиоисточников в ядрах эллиптических галактик меньше одного парсека [155]. Кроме того, если в случае спиральных галактик распределение радиоизлучения большей частью совпадает с распределением видимого излучения, то среди эллиптических галактик нет ни одной, в которой распределение радиоизлучения хоть как-то было похоже на распределение оптического излучения [156].

В 1968 г. Д. Хишен [157] обнаружил в галактиках NGC 1052 и NGC 4278 неразрешенные ядерные радиоисточники с необычным для нормальных галактик спектром, характерным для компактных ядер радиогалактик и квазаров. Вскоре было показано [158], что линейные размеры радиоисточников в обеих галактиках  $< 0.1$  пс. Затем Д. Хишен и Э. Конклин [159] установили переменность радиоизлучения NGC 1052 на миллиметровых волнах и заподозрили переменность излучения четырех других галактик с аналогичным спектром. Из временных вариаций потока от NGC 1052 были оценены пределы линейных размеров от  $\sim 0.01$  до  $0.3$  пс.

и) Открытие взрыва в ядре М 82 Р. Линдсом и А. Сандейджем [160] явилось ярким доказательством активных процессов, происходящих в ядрах галактик. Наблюдения П. Харгрейва [161] обнаружили в М 82 компактный радиоисточник (компонент А) с размерами  $< 0.''6$ , от которого исходит 5% потока от всего радиоисточника, имеющего размеры  $50'' \times 15''$ . Согласно Б. Гелдзахлеру и др. [162], угловой диаметр этого источника равен  $0.''0015$ , что соответствует линейному размеру  $0.024$  пс или 28.5 световых дней. Ранее в центральной области М 82 было обнаружено около десяти других радиоисточников с размерами от  $\sim 1''$  до нескольких секунд [163]. Примечательно, что между ними и ИК-источниками, обнаруженными С. ван ден Бергом [164] в центральной области

M 82, нет никакой связи. Полагается, что радиоисточники могут быть остатками сверхновых.

Г. М. Товмасын и Р. Шрадек [165] обнаружили компактный компонент ( $\sim 3''$ ), излучающий около 90% интегрального потока и расположенный в центре поглощающей полосы галактики NGC 520. Определение положения компактного компонента позволило определить центр этой весьма пекулярной на вид галактики, с ядром которого совпадает, очевидно, этот компонент, и, тем самым, установить, что NGC 520 — одиночная галактика, а не пара взаимодействующих галактик, как кажется.

к) Наблюдения галактик с аномальным для своего морфологического класса более голубым цветом из списка [166], выполненные в 1965 г. [167], обнаружили радиоизлучение у  $\sim 80\%$  исследованных галактик, тогда как радиоизлучение с тем же предельным потоком (0.1 Ян) на частоте 1400 МГц было обнаружено только у 20% других галактик тех же видимых величин, наблюдавшихся на том же радиотелескопе [168, 169]. Это подтверждало предполагавшееся Б. Е. Маркаряном [166] наличие нетеплового излучения у указанных галактик.

Радионаблюдения более пятисот галактик Маркаряна, общим отличительным признаком которых является наличие избыточного ультрафиолетового излучения, были выполнены Р. Шрадеком и Г. М. Товмасыном [170]. Затем галактики с ультрафиолетовым избытком из последующих списков Маркаряна наблюдались Ж. Сулентиком [171], Г. Коджояном и др. [172] и Г. М. Товмасыном и др. [173]. Значительное количество галактик Маркаряна из первых пяти списков наблюдали Дж. Бигинг и др. [174]. Эти наблюдения показали, что среди галактик Маркаряна радиоизлучением в основном обладают галактики типа Sy-2. Такой же результат был получен А. де Бройном и А. Вилсоном [175], наблюдавшими 39 галактик Маркаряна с сейфертовскими характеристиками. Согласно [175], галактики типа Sy-2 обладают большей радиосветимостью, чем галактики типа Sy-1. Аналогичные результаты были получены [176] и по наблюдениям галактик с эмиссионными линиями в спектрах, список которых был составлен в Серро Тололо [177].

Г. Коджоян и др. [178], исследовавшие радиоспектр галактики Маркаряна 668 (радиоисточник OQ 208), объяснили наблюдаемый у этого объекта завал спектра на низких частотах поглощением радиоизлучения в очень плотном облаке ионизирующего газа, в которое погружено ядро галактики. Исходя из наличия такого облака, авторы [178] пришли к выводу, что галактика Маркаряна 668 принадлежит типу Sy-1, что в дальнейшем подтвердилось.

Радиоизлучение галактик из оригинального списка К. Сейферта было исследовано ранее К. Вейдом [179] и П. ван дер Круитом [180]. Детальное исследование радиоизлучения сейфертовских галактик NGC 1068, 3227,

4151 и 7469 на волне 6 см с высоким угловым разрешением было выполнено А. де Бройном и А. Виллисом [181]. Эти наблюдения показали, что, наряду с ядерными компонентами, сейфертовские галактики имеют и протяженные компоненты радиоизлучения. Была обнаружена четкая корреляция между инфракрасным излучением и радиоизлучением сейфертовских галактик [180, 182].

Д. Остерброк и др. [183—185], исследовавшие оптические спектры радиогалактик, обнаружили среди них объекты с характерными для галактик типа Sy-1 спектрами (с широкими разрешенными и узкими запрещенными эмиссионными линиями). Этот результат, казалось бы, противоречит выводу о том [170], что галактики типа Sy-1 являются слабыми радиоизлучателями. Следует, однако, иметь в виду, что радиогалактики с широкими эмиссионными линиями относятся к классическим двойным радиогалактикам, радиоизлучение которых исходит от двух облаков, симметрично расположенных относительно родительской галактики. Слабое же радиоизлучение галактик типа Sy-1 исходит из их ядерных областей. Так что это различные по характеру объекты, несмотря на сходство их оптических спектров.

Радиоспектры ряда галактик Маркаряна с обнаруженным радиоизлучением были исследованы Г. Коджояном и др. [186], а 40 сейфертовских галактик, обнаруженных, в основном, среди галактик Маркаряна,— В. МакКатчэном и П. Грегори [187]. Наблюдения нескольких галактик Маркаряна в интервале частот 2.3—14.4 ГГц были выполнены В. А. Санамьяном и Р. А. Кандаляном на радиотелескопе РАТАН-600 [188—189].

Спектр почти у всех галактик сейфертовского типа прямолинейный, с нормальным для внегалактических источников наклоном. Исключением является галактика Маркарян 348, с почти плоским спектром в интервале частот 2.7—15.5 ГГц.

Достаточно плоский спектр у объектов Маркарян 11, 180, 421 и 501, отождествленных с объектами типа BL Lac [186]. Намечаемый на частотах выше 10 ГГц спад в спектре объектов Маркарян 421 и 501 был подтвержден наблюдениями Р. Джойса и М. Саймона [190] на частоте 93 ГГц.

Размеры радиоисточников в галактиках сейфертовского типа — Маркарян 1, 3, 231, 273, 348 оказались меньше  $1''$  [191]. В случае галактики Маркарян 6, наряду с ядерным источником с размерами  $< 0.3''$ , был обнаружен протяженный радиоисточник с размерами около  $30''$  на частоте 2.7 ГГц со смещением на  $2''$  от ядра галактики центром [192].

Среди галактик Маркаряна переменность радиоизлучения вначале была установлена в случае галактики Маркарян 348 [193]. Приблизительно за год поток от этой галактики на длине волны 6 см уменьшился приблизительно в 1.5 раза. В дальнейшем изменения потока от этой га-

лактики регистрировались и другими наблюдателями. Наиболее разительные изменения, происходящие всего за несколько дней, были замечены В. Мак-Катчэном и П. Грегори [187] на длине волны 1.2 см. Аналогичные изменения были зарегистрированы ими и в случае галактики Маркарян 231. Переменным, по всей видимости, является и радиоизлучение галактики Маркарян 538 (NGC 7714) [194].

Таким образом, исследование радиоизлучения галактик с избыточным ультрафиолетовым излучением показало, что активные процессы в некоторых из них сопровождаются сравнительно мощным радиоизлучением. По мощности радиоизлучения ( $\sim 10^{39} - 10^{41}$  эрг/с) такие галактики располагаются между нормальными галактиками со слабым радиоизлучением ( $\sim 10^{37} - 10^{39}$  эрг/с) и радиогалактиками и квазарами (до  $10^{45}$  эрг/с). Это говорит о том, что явление активности ядер галактик присуще не только радиогалактикам и квазарам, а характерно для всех представителей мира галактик вообще. И, следовательно, нормальные с точки зрения мощности радиоизлучения галактики, сейфертовские галактики, радиогалактики и квазары располагаются в одну последовательность и различаются лишь по мощности радиоизлучения.

Активностью ядер галактик естественным образом может быть объяснена и большая частота встречаемости радиоизлучения среди кратных [195], а также двойных и взаимодействующих галактик [196, 197].

5. *Наблюдения нейтрального водорода и молекул в галактиках.* К настоящему времени излучение нейтрального водорода на длине волны 21 см обнаружено у нескольких сотен галактик.

Исследование нашей Галактики показало, что нейтральный водород распределен в ней в достаточно кольцеобразном слое. Наибольшая плотность нейтрального водорода достигается на расстоянии приблизительно 10 кпс от центра Галактики. По точкам половинной мощности почти такая же толщина кольца. Толщина кольца около 250 кпс. Внутри этого кольца, на расстояниях от  $\sim 4$  до  $\sim 6$  кпс от центра Галактики, расположены Н II-области.

Аналогичное распределение нейтральный водород имеет и во многих других галактиках [198]. В случае нескольких галактик с большими угловыми размерами, например, М 31, М 33, М 51, М 81 и М 101, угловое разрешение использованных радиотелескопов оказалось достаточным для выделения спиральной структуры. В этих галактиках распределение Н I-областей в общих чертах повторяет оптическую структуру. В галактиках М 31 [199], М 81 [200, 201] и М 51 [202] спиральные рукава в излучении нейтрального водорода довольно хорошо совпадают по положению с оптическими спиральными рукавами или, точнее, со слоем пыли с внутренней стороны спиральных рукавов. Во всех этих галактиках нейтральный

водород в центральной области отсутствует. В М 31 радиус центральной области с недостатком водорода составляет около 4 кпс. В М 81 толщина рукавов HI около 2 кпс. Отношение плотности HI в рукавах к плотности в межрукавном пространстве составляет от 3:1 до 5:1.

Встречаются галактики с несколько отличным распределением в них HI. В М 33 [203], например, плотность HI в центральных областях всего около двух раз меньше максимальной плотности, а в NGC 253 [204] вообще нет депрессии плотности HI в центре.

Наблюдения показали также, что некоторые спиральные галактики (М 31 [205], М 33 [206], NGC 300 [207], М 51 [208], М 101 [198] и М 83 [209]) погружены в намного большие по объему облака нейтрального водорода. И почти всегда плоскости водородных дисков у галактик искривлены, как и в случае нашей Галактики. Водородное облако в М 33 имеет спиралевидную форму с такой же ориентацией рукавов, как и у оптических [206].

В общие протяженные рукава HI погружены и некоторые близко расположенные галактики, например, М 81, М 82 и NGC 3077 [198].

Нередко между взаимодействующими галактиками наблюдаются перемычки нейтрального водорода. Впервые такая перемычка была обнаружена между Большим и Малым Магеллановыми Облаками [210]. Эта перемычка довольно узкая и состоит из отдельных сгущений. Их полная масса составляет около 10% полной массы HI обоих Облаков [211]. Перемычки HI были обнаружены и между парами галактик NGC 4631/56 [212], NGC 4151/45, NGC 4725/27 [213], NGC 1512/10 [214]. В NGC 4038/39, примечательной наличием двух длинных «усов» светящейся материи, около 70% полной массы водорода ассоциировано с «усами» [215].

В некоторых случаях (М 83 [209], NGC 3628 [216]) в протяженных областях нейтрального водорода, в которые погружены галактики, наблюдаются струевидные структуры. В случае NGC 3628 такая струя простирается на расстояние до 100 кпс от центра галактики.

Об обнаружении движущейся со скоростью около 230 км/с от ядра туманности Андромеды в сторону наблюдателя массы нейтрального водорода в  $2 \cdot 10^7 M_{\odot}$  сообщается в работе [217]. Аналогичное истечение нейтрального водорода со скоростью около 100 км/с обнаружено и у ядра видимой с ребра галактики NGC 253 [218]. Эти факты весьма примечательны с точки зрения явления активности ядер галактик.

В иррегулярных галактиках, в отличие от спиральных, нейтральный водород во всех случаях сконцентрирован к центру галактики, причем объем, занимаемый водородом, значительно больше видимого объема галактики [198]. При этом максимум плотности HI не всегда совпадает с центром галактики. В галактике NGC 3077, например, это смещение со-

ставляет 4' или около 4 кпс [219], а в случае NGC 3109 — около 4.5 кпс [220].

В Малом Магеллановом Облаке Дж. Айндман [221] еще в 1967 г. обнаружил три оболочки нейтрального водорода с диаметрами от 1° до 1.°8, расширяющиеся со скоростью около 20—25 км/с. Хотя и эти сгущения являются наиболее яркими деталями распределения HI в ММО, они содержат всего 7% (по  $\sim 10^7 M_{\odot}$ ) полной массы водорода галактики.

Обнаружение относительно большого количества водорода в карликовых иррегулярных галактиках типа Магеллановых Облаков, NGC 3109 и NGC 6822, и в самих Облаках стимулировали наблюдения других галактик такого же типа [222, 223]. В работе [223] из наблюдавшихся 243 карликовых галактик нейтральный водород был обнаружен в 129. Эти наблюдения показали, что карликовые иррегулярные галактики более богаты водородом, чем иррегулярные галактики больших размеров.

Небольшое количества нейтрального водорода было обнаружено в нескольких близких эллиптических и сфероидальных галактиках [224, 225].

Исследование 58 сейфертовских галактик показало, что распределение в них HI, обнаруженного у 25 галактик, сходно с таковым в случае спиральных галактик [226]. Нейтральный водород был обнаружен [227] и у ряда галактик Маркаряна, не принадлежащих сейфертовскому типу.

Как выяснилось, относительная масса водорода ( $M_{\text{HI}}/M_{\text{T}}$ , где  $M_{\text{T}}$  — полная масса галактик) меняется с морфологическим типом галактики. В эллиптических галактиках  $M_{\text{HI}}/M_{\text{T}}$  меньше  $10^{-3}$ . Такое небольшое количество водорода в Е-галактиках кажется удивительным, поскольку известно, что звезды при своей эволюции теряют газ. Со временем накопленный таким образом газ должен быть обнаруживаем. Масса нейтрального водорода составляет около 1% полной массы в спиральных ранних типов (S0) и доходит до 18% в спиральных поздних типов и иррегулярных галактиках [227]. Таков же ход изменения отношения массы HI к светимости галактики.

Наблюдения HI позволили исследовать вращение галактик до их далеких периферийных областей, а в ряде случаев и их детальную динамику. Полученные кривые вращения галактик характеризуются ростом скорости во внутренних областях до достижения максимального значения на некотором расстоянии от центра, а затем медленным убыванием или же более или менее постоянным значением скорости на больших расстояниях. Сложная картина некруговых движений нейтрального водорода была обнаружена, кроме упоминавшихся выше M 31 и NGC 253, в галактиках NGC 5383, NGC 3359, NGC 660 и др.

После обнаружения целого ряда молекул в нашей Галактике были сделаны попытки обнаружения молекул и в других галактиках. Вначале в M 82 был обнаружен радикал OH [229]. Затем эта же молекула была об-

наружена и в галактиках NGC 253 и NGC 4945 [230]. В этих же галактиках был обнаружен формальдегид ( $H_2CO$ ) [231]. К настоящему времени в различных галактиках обнаружены также окись углерода (CO), вода. Сравнение количеств OH,  $H_2CO$  и CO в галактиках M 82 и NGC 253 показывает, что относительное обилие этих молекул в них почти такое же, как и в нашей Галактике [232].

В настоящем обзоре, охватывающем лишь незначительное число работ по исследованию радиоизлучения внегалактических объектов, была сделана попытка ознакомить читателя с огромными успехами радиоастрономических наблюдений, достигнутыми за сравнительно короткое время.

Бюраканская астрофизическая  
обсерватория

## RADIO EMISSION OF EXTRAGALACTIC OBJECTS

H. M. TOVMASSIAN

The results of observations of radio galaxies, quasars and normal galaxies, are presented. The data on the radio structure, variability of radio galaxies and quasars and superluminally expanding radio sources are discussed. The results on observations of HI and molecules in galaxies are also presented.

### ЛИТЕРАТУРА

1. J. S. Hey, S. J. Parsons, J. W. Philips, *Nature*, 158, 234, 1946.
2. J. G. Bolton, G. Stanley, O. B. Slee, *Nature*, 164, 101, 1949.
3. R. Hanbury Brown, C. Hazard, *M. N.*, 111, 357, 1951.
4. M. Schmidt, *Nature*, 197, 1040, 1963.
5. В. А. Амбарцумян, Изв. АН Арм. ССР, сер. физ.-мат. наук, 9, 23, 1956.
6. В. А. Амбарцумян, Изв. АН Арм. ССР, сер. физ.-мат. наук, 11, 9, 1958.
7. V. A. Ambartsumian, *A. J.*, 66, 536, 1961.
8. R. C. Jennison, M. K. Das Gupta, *Nature*, 172, 996, 1953.
9. S. L. Mitton, M. Ryle, *M. N.*, 146, 221, 1969.
10. G. Swarup, A. R. Thomson, R. N. Bracewell, *Ap. J.*, 138, 305, 1963.
11. C. M. Wade, *Austral. J. Phys.*, 12, 471, 1959.
12. J. G. Bolton, B. G. Clarke *P. A. S. P.*, 72, 29, 1960.
13. G. H. Macdonald, S. Kenderdine, A. C. Nevill, *M. N.*, 138, 259, 1968.
14. E. B. Fomalont, *Ap. J.*, 157, 1027, 1969.
15. N. J. B. A. Branson, B. Elsmore, G. G. Pooley, M. Ryle, *M. N.*, 156, 377, 1972.
16. G. K. Miley, A. P. Hartsujker, *Astron. Astrophys., Suppl. ser.*, 34, 129, 1978.
17. G. K. Miley, M. Wade, *Astrophys. Lett.*, 8, 11, 1971.
18. K. B̄ing, W. Yip, G. A. Seielstad, *Ap. J.*, 177, 291, 1972.

19. *P. J. Hargrave, M. Ryle, M. N.*, 166, 305, 1974.
20. *R. C. Walker, K. Y. Lo, B. F. Burke, K. J. Johnston, J. M. Moran, Ap. J.*, 208, 296, 1976.
21. *P. J. Hargrave, M. Ryle, M. N.*, 175, 481, 1976.
22. *G. G. Pooley, S. N. Henbest, M. N.*, 169, 477, 1974.
23. *J. M. Riley, G. G. Pooley, Mem. R. A. S.*, 80, 105, 1975.
24. *C. J. Jenkins, G. G. Pooley, J. M. Riley, Mem. R. A. S.*, 84, 61, 1977.
25. *C. J. Jenkins, M. McEllin, M. N.*, 180, 219, 1977.
26. *V. K. Kapahi, R. T. Schilizzi, Nature*, 277, 610, 1979.
27. *V. K. Kapahi, Astron. Astrophys.*, 67, 157, 1978.
28. *J. J. Broderick, J. J. Condon, Ap. J.*, 202, 596, 1975.
29. *M. A. Scott, M. N.*, 179, 377, 1977.
30. *K. I. Kellermann, B. G. Clark, A. E. Niel, D. B. Shaffer, Ap. J.*, 197, L113, 1975.
31. *D. E. Hogg, G. H. Macdonald, R. G. Conway, C. M. Wade, A. J.*, 74, 1206, 1969.
32. *Ю. Н. Парийский, Г. М. Тимофеева, Астрон. ж.*, 8, 1, 1964.
33. *M. H. Cohen, A. J. Moffet, D. B. Shaffer, B. G. Clark, K. I. Kellermann, D. L. Jauncey, S. Gulkts, Ap. J.*, 158, L83, 1969.
34. *W. Donaldson, G. K. Miley, H. P. Palmer, H. Smith, M. N.*, 146, 213, 1969.
35. *J. Graham, M. N.*, 149, 319, 1970.
36. *N. W. Broten, R. Clarke, T. H. Legg, J. L. Locke, R. M. Chisholm, M. N.*, 146, 313, 1969.
37. *I. I. K. Pauliny-Toth, E. Preuss, A. Wetzel, K. I. Kellermann, D. B. Shaffer, G. H. Purcell, G. W. Crove, D. L. Jones, M. H. Cohen, A. T. Moffet, J. Romney, R. T. Schilizzi, R. Rinehart, Nature*, 259, 17, 1976.
38. *R. T. Schilizzi, A. J.*, 81, 946, 1976.
39. *E. Preuss, I. I. K. Pauliny-Toth, A. Wetzel, K. I. Kellermann, D. B. Shaffer, Astron. Astrophys.*, 54, 297, 1977.
40. *B. J. Geldzahler, E. B. Fomalont, A. J.*, 83, 1047, 1978.
41. *J. F. C. Wardle, G. K. Miley, Astron. Astrophys.*, 30, 305, 1974.
42. *M. R. Gearhart, E. Pacht, Nature*, 266, 819, 1977.
43. *A. H. Bridle, M. M. Davies, D. A. Meloy, E. B. Fomalont, R. G. Strom, A. G. Willis, Nature*, 262, 179, 1976.
44. *A. G. Willis, R. G. Strom, Astron. Astrophys.*, 62, 375, 1978.
45. *P. C. Waggett, P. J. Warner, J. E. Baldwin, M. N.*, 181, 465, 1977.
46. *M. Ryle, M. Longair, M. N.*, 136, 123, 1967.
47. *C. D. Mackay, M. N.*, 162, 1, 1973.
48. *C. Lari, G. C. Perola, IAU Symp. No. 79, 1978, p.* 137.
49. *T. Hooley, M. N.*, 166, 259, 1974.
50. *J. O. Burns, F. N. Owen, L. Rudnick, Ap. J.*, 217, 34, 1977.
51. *M. Ryle, M. D. Windram, M. N.*, 138, 1, 1968.
52. *G. K. Miley, G. C. Perola, P. C. van der Kruit, H. van der Laan, Nature*, 237, 269, 1972.
53. *M. A. Wilson, M. N.*, 151, 1, 1970.
54. *J. M. Hill, M. S. Longair, M. N.*, 154, 125, 1971.
55. *G. Chinkarini, H. J. Rood, Ap. J.*, 168, 321, 1971.
56. *J. H. Riley, M. N.*, 161, 167, 1973.
57. *A. Stingo, M. N.*, 168, 307, 1974.

58. *L. Rudnick, F. N. Owen*, *Ap. J.*, 203, L107, 1976.
59. *A. S. Wilson, J. P. Vallee*, *Astron. Astrophys.*, 58, 79, 1977.
60. *R. T. Schilizzi, R. D. Ekers*, *Astron. Astrophys.*, 40, 221, 1975.
61. *R. D. Ekers, R. Fanti, C. Lari, M.-H. Ulrich*, *Astron. Astrophys.*, 69, 253, 1978.
62. *В. А. Амбарцумян*, Труды V совещания по вопросам космогонии, М., 1956, стр. 413.
63. *G. de Vaucouleurs, R. Angione, C. W. Freser*, *Astrophys. Lett.*, 2, 141, 1968.
64. *B. D. Turland*, *M. N.*, 170, 281, 1975.
65. *D. E. Harris, J. A. Roberts, P. A. S. P.*, 72, 237, 1960.
66. *K. J. E. Northover*, *M. N.*, 165, 369, 1973.
67. *B. D. Turland*, *M. N.*, 172, 181, 1975.
68. *A. C. S. Readhead, M. Cohen, R. D. Blandford*, *Nature*, 272, 131, 1978.
69. *S. M. Simkin, R. D. Ekers*, *A. J.*, 84, 56, 1979.
70. *W. A. Dent*, *Science*, 148, 1458, 1965.
71. *W. J. Medd, B. H. Andrew, G. A. Harvey, J. L. Locke*, *Mem. R. A. S.*, 77, 109, 1972.
72. *W. A. Dent, G. Kojoian, A. J.*, 77, 819, 1972.
73. *W. A. Dent, J. E. Kapitzky, G. Kojoian, A. J.*, 79, 1232, 1974.
74. *G. W. Brandie, A. H. Bridle, M. J. L. Kesteven*, *Nature*, 252, 212, 1974.
75. *D. R. Altschuler, J. F. C. Wardle*, *Mem. R. A. S.*, 82, 1, 1976.
76. *W. K. Huchtmeier, A. E. Wright*, *Astrophys. Lett.*, 15, 209, 1973.
77. *D. T. Kinmann, J. F. C. Wardle, E. K. Conclin, A. J.*, 79, 349, 1974.
78. *V. A. Efanov, I. G. Moiseev, N. S. Nesterov, N. M. Shachovskoy*, *Nature*, 269, 493, 1977.
79. *P. Kaufmann, P. M. dos Santos, J. C. Raffaelli, E. Scalise*, *Nature*, 269, 311, 1977.
80. *R. W. Hunstead*, *Astrophys. Lett.*, 12, 192, 1972.
81. *В. Г. Малумян, В. А. Санамян*, *Астрофизика*, 11, 699, 1975.
82. *W. B. McAdam*, *Proc. Astr. Soc., Australia*, 3, 86, 1976.
83. *J. J. Condon, J. E. Ledden, S. L. O'Dell, B. Dennison, A. J.*, 84, 1, 1979.
84. *B. H. Andrew, M. J. Medd, G. A. Harvey, J. L. Locke*, *Nature*, 236, 445, 1972.
85. *D. R. Altschuler, J. F. C. Wardle, M. N.*, 179, 153, 1977.
86. *W. D. Cotton*, *Ap. J. Suppl., ser.*, 32, 467, 1976.
87. *R. J. Allen, A. H. Barrett, P. P. Crowther, Ap. J.*, 151, 43, 1968.
88. *H. D. Aller, F. T. Haddock, Ap. J.*, 147, 883, 1967.
89. *J. Gubbay, A. J. Legg, D. S. Robertson, G. D. Nicolson, A. T. Moffet, D. B. Shaffer, Ap. J.*, 215, 20, 1977.
90. *K. I. Kellermann, I. I. K. Pauliny-Toth*, *Nature*, 213, 977, 1967.
91. *K. I. Kellermann, I. I. K. Pauliny-Toth*, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, 6, 417, 1968.
92. *И. С. Шкловский*, *Астрон. ж.*, 37, 256, 1960.
93. *J. Locke, B. H. Andrew, W. J. Medd, Ap. J.*, 157, L81, 1969.
94. *F. W. Peterson, W. A. Dent, Ap. J.*, 186, 421, 1973.
95. *J. Gubbay, A. J. Legg, D. S. Robertson, A. T. Moffet, R. D. Ekers, B. Seidel, Nature*, 224, 1094, 1969.
96. *C. A. Knight, D. S. Robertson, A. E. E. Rogers, I. I. Shapiro, A. R. Whitney, A. T. Clark, M. Goldstein, G. E. Marandino, N. R. Vandenberg, Science*, 173, 52, 1971.
97. *K. I. Kellermann, D. L. Jancey, M. H. Cohen, D. B. Shaffer, B. G. Clark, J. Broderick, O. E. H. Rydbeck, L. Matveyenko, I. Moiseev, V. V. Vitkevich, B. F. C. Cooper, R. Batchelor, Ap. J.*, 169, 1, 1971.

98. *M. H. Cohen, W. Cannon, G. H. Purcell, D. B. Shaffer, J. J. Broderick, K. I. Kellermann, D. L. Jancey*, *Ap. J.*, 170, 207, 1971.
99. *J. J. Wittles, I. I. Shapiro, W. D. Cotton, C. C. Counselman, H. F. Hinteregger, C. A. Knight, A. E. E. Rogers, A. R. Whitney, T. A. Clark, L. K. Hutton, A. E. Niell, B. O. Ronnang, O. E. H. Rydbeck*, *A. J.*, 81, 933, 1976.
100. *D. B. Shaffer, K. I. Kellermann, G. H. Purcell, I. I. K. Pauliny-Toth, E. Preuss, E. Witzel, D. Graham, R. T. Schilizzi, M. H. Cohen, A. T. Moffet, J. D. Romney, A. E. Niell*, *Ap. J.*, 218, 353, 1977.
101. *R. D. Davies, D. Stannard, R. G. Conway*, *Nature*, 267, 596, 1977.
102. *R. T. Schilizzi, M. H. Cohen, J. D. Romney, D. B. Shaffer, K. I. Kellermann, G. W. Swenson, J. L. Yen, R. Rinehart*, *Ap. J.*, 201, 263, 1975.
103. *T. H. Legg, N. W. Broten, D. N. Fort, M. J. S. Qugley, F. V. Bale, P. G. Barber, J. L. Yen*, *Ap. J.*, 211, 21, 1977.
104. *K. I. Kellermann, D. B. Shaffer, G. H. Purcell, I. I. K. Pauliny-Toth, E. Preuss, A. Witzel, D. Graham, R. T. Schilizzi, M. H. Cohen, A. T. Moffet, J. D. Romney, A. E. Niell*, *Ap. J.*, 211, 658, 1977.
105. *J. J. Wittels, C. A. Knight, J. J. Shapiro, H. F. Hinteregger, A. E. E. Rogers, A. R. Whitney, T. A. Clark, L. K. Hutton, G. E. Marandino, A. E. Niell, B. O. Ronnang, O. E. H. Rydbeck, W. K. Klemperer, W. W. Warnock*, *Ap. J.*, 196, 13, 1975.
106. *M. H. Cohen, K. I. Kellermann, D. B. Shaffer, R. P. Linfield, A. T. Moffet, J. D. Romney, G. A. Sielstad, I. I. K. Pauliny-Toth, E. Preuss, A. Witzel, R. T. Schilizzi, B. J. Geldzahler*, *Nature*, 268, 405, 1977.
107. *G. A. Seielstad, M. H. Cohen, R. P. Linfield, A. T. Moffet, J. D. Romney, R. T. Schilizzi*, *Ap. J.*, 229, 53, 1979.
108. *K. I. Kellermann, B. G. Clark, D. B. Shaffer, M. H. Cohen, D. L. Jancey, J. J. Broderick, A. E. Niell*, *Ap. J.*, 189, L19, 1974.
109. *A. E. Niell, K. I. Kellermann, B. G. Clark, D. B. Shaffer*, *Ap. J.*, 197, L109, 1975.
110. *W. A. Dent*, *Ap. J.*, 175, L55, 1972.
111. *M. Rees*, *M. N.*, 135, 345, 1967.
112. *L. M. Ozernoy, V. N. Sazonov*, *Astrophys. Space Sci.*, 3, 395, 1969.
113. *G. A. Seielstad*, *Ap. J.*, 193, 55, 1974.
114. *M. H. Cohen, W. Cannon, G. H. Purcell, D. B. Shaffer, J. J. Broderick, K. I. Kellermann, D. L. Jancey*, *Ap. J.*, 170, 207, 1971.
115. *P. Couderc*, *Ann. d'Astrophys.*, 2, 271, 1939.
116. *R. D. Blandford, C. F. McKee, M. J. Rees*, *Nature*, 267, 211, 1977.
117. *D. Lyndenn-Bell*, *Nature*, 270, 396, 1977.
118. *R. J. Epstein, M. J. Geller*, *Nature*, 265, 219, 1977.
119. *W. D. Metz*, *Science*, 188, 1289, 1975.
120. *M. S. Longair, M. Ryle, P. A. G. Scheuer*, *M. N.*, 164, 243, 1973.
121. *D. S. de Young, W. J. Axford*, *Nature*, 216, 129, 1967.
122. *G. R. Burbidge*, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, 8, 369, 1970.
123. *P. C. van der Kruit*, *Astrophys. Lett.*, 11, 173, 1972.
124. *E. M. Berkhuijsen, R. Wielebinski*, *Astron. Astrophys.*, 34, 173, 1974.
125. *E. M. Berkhuijsen*, *Astron. Astrophys.*, 57, 9, 1977.
126. *A. Segalovitz*, *Astron. Astrophys.*, 55, 203, 1977.
127. *D. T. Emerson, P. P. Kronberg, R. Wielebinski*, *Astron. Astrophys.*, 63, 49, 1978.
128. *R. Wielebinski, A. van Kap-Herr*, *Astron. Astrophys.*, 59, L17, 1977.

129. *A. G. de Bruyn*, *Astron. Astrophys.*, 58, 221, 1977.
130. *F. Izrael, P. C. van der Kruit*, *Astron. Astrophys.*, 32, 363, 1974.
131. *A. van Kap-Herr, E. M. Berkhuijsen, R. Wielebinski*, *Astron. Astrophys.*, 62, 51, 1978.
132. *A. Segalovitz*, *Astron. Astrophys.*, 54, 703, 1977.
133. *P. C. van der Kruit*, *Astron. Astrophys.*, 59, 359, 1977.
134. *P. C. van der Kruit, J. H. Oort, D. S. Mathewson*, *Astron. Astrophys.*, 21, 169, 1972.
135. *E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, K. H. Prendergast*, *Ap. J.*, 130, 739, 1959.
136. *E. P. Israel, W. M. Goss, R. J. Allen*, *Astron. Astrophys.*, 40, 421, 1975.
137. *S. T. Gottesman, J. J. Broderick, R. L. Brown, B. Balick, P. Palmer*, *Ap. J.*, 174, 383, 1972.
138. *W. M. Goss, R. J. Allen, R. D. Ekers, A. G. de Bruyn*, *Nature, Phys. Sci.*, 243, 42, 1973.
139. *R. J. Allen, W. H. Goss, R. D. Ekers, A. G. de Bruyn*, *Astron. Astrophys.*, 48, 253, 1976.
140. *S. D'Odorico, P. Benvenuti, F. Sabbadin*, *Astron. Astrophys.*, 63, 63, 1978.
141. *E. R. Seaquist, R. C. Bignell*, *Ap. J.*, 226, L5, 1978.
142. *A. G. de Bruyn*, *Astron. Astrophys.*, 26, 105, 1973.
143. *R. L. Brown, A. P. Marscher*, *Ap. J.*, 220, 467, 1978.
144. *J. E. Baldwin*, *Nature*, 174, 320, 1954.
145. *B. Denniss, T. J. Balonek, Y. Terzian, B. Balick*, *P. A. S. P.*, 87, 83, 1975.
146. *R. Wielebinski*, *Astron. Astrophys.*, 48, 155, 1976.
147. *G. G. Pooley*, *M. N.*, 144, 143, 1969.
148. *J. E. Baldwin, G. G. Pooley*, *M. N.*, 161, 127, 1973.
149. *R. J. Allen, J. E. Baldwin, R. Sancisi*, *Astron. Astrophys.*, 62, 397, 1978.
150. *G. G. Pooley, S. Kenderdine*, *Nature*, 214, 1190, 1967.
151. *P. C. van der Kruit*, *Astrophys. Lett.*, 11, 173, 1972.
152. *Г. М. Товмасын*, *Астрофизика*, 3, 555, 1967.
153. *Г. М. Товмасын*, *Астрофизика*, 2, 419, 1966.
154. *Н. М. Товмасын*, *Ap. J.*, 178, L47, 1972.
155. *R. D. Ekers*, *Physica Scripta*, 17, 188, 1977.
156. *R. D. Ekers*, *Structure and Properties of Nearby Galaxies*, 1978, p. 49.
157. *D. S. Heeschen*, *Ap. J.*, 151, L135, 1968.
158. *M. H. Cohen, W. Cannon, G. H. Purcell, D. B. Shaffer, J. J. Broderick, K. I. Kellermann, D. L. Jauncey*, *Ap. J.*, 170, 207, 1971.
159. *D. S. Heeschen, E. K. Conklin*, *Ap. J.*, 196, 347, 1975.
160. *C. R. Lynds, A. R. Sandage*, *Ap. J.*, 137, 1005, 1963.
161. *P. J. Hargrave*, *M. N.*, 168, 491, 1974.
162. *B. J. Geldzahler, K. I. Kellermann, D. B. Shaffer, B. J. Clark*, *Ap. J.*, 215, L5, 1977.
163. *P. P. Kronberg, C. J. Pritchett, S. van den Bergh*, *Ap. J.*, 173, L47, 1972.
164. *S. van den Bergh*, *Astron. Astrophys.*, 12, 474, 1971.
165. *Н. М. Товмасын, Р. А. Сражек*, *Астрофизика*, 12, 21, 1976.
166. *Б. Е. Маркарян*, *Сообщ. Бюраканской об.*, 34, 3, 1963.
167. *Н. М. Товмасын*, *Austr. J. Phys.*, 19, 565, 1966.
168. *Н. М. Товмасын*, *Austr. J. Phys.*, 19, 883, 1966.
169. *Н. М. Товмасын*, *Austr. J. Phys.*, 21, 193, 1968.
170. *R. A. Sramek, H. M. Tovmassian*, *Ap. J.*, 196, 339, 1975.

171. *J. W. Sulentic, A. J.*, 81, 582, 1976.
172. *G. Kojoian, H. M. Tovmassian, D. Dickinson, A. St. C. Dinger*, (in press).
173. *Г. М. Товмасын, В. Шервуд, Г. Метьюс, К. Солгер, Г. Шульц* (в подготовке к печати).
174. *J. H. Bieging, P. Biermann, K. Fricke, I. I. K. Paulny-Toth, A. Witzel*, *Astron. Astrophys.*, 60, 353, 1977.
175. *A. G. de Bruyn, A. S. Wilson*, *Astron. Astrophys.*, 53, 93, 1976.
176. *M. V. Penston, R. A. E. Fosbury, M. J. Ward, A. S. Wilson*, *M. N.*, 180, 19, 1977.
177. *M. G. Smith, C. Aguirre, M. Zemel'man*, *Ap. J. Suppl. Ser.*, 32, 217, 1976.
178. *G. Kojoian, D. Dickinson, H. M. Tovmassian, A. St. C. Dinger*, *Астрофизика*, 14, 447, 1978.
179. *C. M. Wade, A. J.*, 73, 876, 1968.
180. *P. G. van der Kruit*, *Astron. Astrophys.*, 15, 110, 1971.
181. *A. G. de Bruyn, A. G. Willis*, *Astron. Astrophys.*, 33, 351, 1974.
182. *G. H. Rieke, F. J. Low*, *Ap. J.*, 176, L95, 1972.
183. *D. E. Osterbrock, A. T. Koski, M. M. Phillips*, *Ap. J.*, 197, L41, 1975.
184. *M. M. Phillips, D. E. Osterbrock*, *P. A. S. P.*, 87, 949, 1975.
185. *D. E. Osterbrock, A. T. Koski, M. M. Philips*, *Ap. J.*, 206, 898, 1976.
186. *G. Kojoian, R. A. Sramek, D. E. Dickinson, H. M. Tovmassian, C. R. Purton*, *Ap. J.*, 203, 323, 1975.
187. *W. H. McCutcheon, P. C. Gregory*, *A. J.*, 83, 566, 1978.
188. *В. А. Санамян, Р. А. Кандалян*, *Астрофизика*, 14, 623, 1978.
189. *В. А. Санамян, Р. А. Кандалян*, *Астрофизика*, 14, 687, 1978.
190. *R. R. Joyce, M. Simon*, *P. A. S. P.*, 88, 870, 1976.
191. *R. A. Sramek, H. M. Tovmassian*, *Ap. J.*, 207, 725, 1976.
192. *R. A. Sramek, H. M. Tovmassian*, *Ap. J.*, 191, 633, 1974.
193. *R. A. Sramek, H. M. Tovmassian*, *Ap. J.*, 191, L13, 1974.
194. *Г. М. Товмасын, Г. Коджоян* (в подготовке к печати).
195. *Г. М. Товмасын*, *Сообщ. Бюраканской обс.*, 40, 57, 1969.
196. *J. W. Sulentic*, *Ap. J. Suppl. Ser.*, 32, 171, 1976.
197. *J. T. Stocke, A. J.*, 83, 348, 1978.
198. *M. S. Roberts*, *External Galaxies and Quasi-Stellar Sources*, 1972, p. 67.
199. *D. T. Emerson*, *M. N.*, 169, 607, 1974.
200. *S. R. Gottesman, L. Weliachew*, *Ap. J.*, 195, 23, 1975.
201. *A. H. Rots*, *Astron. Astrophys.*, 45, 43, 1975.
202. *R. J. Allen*, *La Dynamique des Galaxies Spirales*, Ed. L. Weliachew, 1975, p. 157.
203. *D. H. Rogstad, M. C. H. Wright, I. A. Lockhart*, *Ap. J.*, 204, 703, 1976.
204. *F. Combes, S. T. Gottesman, L. Weliachew*, *Astron. Astrophys.*, 59, 181, 1977.
205. *K. Newton, D. T. Emerson*, *M. N.*, 181, 573, 1977.
206. *M. L. Reakes, K. Newton*, *M. N.*, 185, 277, 1978.
207. *D. H. Rogstad, R. M. Crutcher, K. Chu*, *Ap. J.*, 229, 509, 1979.
208. *M. P. Haynes, R. Giovanelli, M. S. Burkhead*, *A. J.*, 83, 938, 1978.
209. *D. H. Rogstad, I. A. Lockhart, M. C. H. Wright*, *Ap. J.*, 193, 309, 1974.
210. *J. V. Hindman, F. J. Kerr, R. X. McGee*, *Austr. J. Phys.*, 16, 570, 1963.
211. *F. J. Kerr*, *The Magellanic Clouds*, ed. C. Muller, 1971, p. 50.
212. *L. Weliachew, R. Sancisi, M. Gueltin*, *Astron. Astrophys.*, 65, 37, 1978.
213. *R. D. Davies*, *Structure and Properties of Nearby Galaxies*, 1978, p. 274.

214. *H. van Woerden*, Structure and Properties of Nearby Galaxies, 1978, p. 274.
215. *J. M. van der Hulst*, *Astron. Astrophys.*, 71, 131, 1979.
216. *A. H. Rots*, *A. J.*, 83, 219, 1978.
217. *R. N. Whitehurst*, *M. S. Roberts*, *Ap. J.*, 175, 347, 1972.
218. *M. C. H. Wright*, *Ap. J.*, 204, 699, 1976.
219. *G. A. Cotrell*, *M. N.*, 174, 455, 1976.
220. *K. J. van Damme*, *Austr. J. Phys.*, 19, 687, 1966.
221. *J. V. Hindman*, *Austr. J. Phys.*, 20, 147, 1967.
222. *C. Balkowski*, *L. Bottinelli*, *P. Chamaroux*, *L. Gouguenheim*, *J. Heidman*, *Astron. Astrophys.*, 34, 43, 1974.
223. *J. R. Fisher*, *R. B. Tully*, *Astron. Astrophys.*, 44, 151, 1975.
224. *L. Bottinelli*, *L. Gouguenheim*, *Astron. Astrophys.*, 54, 641, 1977.
225. *G. R. Knapp*, *F. J. Kerr*, *B. A. Williams*, *Ap. J.*, 222, 800, 1978.
226. *T. M. Heckman*, *B. Bolick*, *W. T. Sullivan III*, *Ap. J.*, 224, 745, 1978.
227. *M. S. Roberts*, *Science*, 183, 371, 1974.
228. *P. C. van der Krutt*, *R. J. Allen*, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, 16, 103, 1978.
229. *L. Weliachew*, *Ap. J.*, 167, L47, 1971.
230. *J. B. Whiteoak*, *F. F. Gardner*, *Astrophys. Lett.*, 15, 211, 1973.
231. *F. F. Gardner*, *J. B. Whiteoak*, *Nature*, 247, 526, 1974.
232. *L. J. Rickard*, *P. Palmer*, *M. Morris*, *B. E. Turner*, *B. Zuckerman*, *Ap. J.*, 213, 673, 1977.