

О ПРИРОДЕ ГАЛАКТИК С УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМ
КОНТИНУУМОМ. I. ОСНОВНЫЕ СПЕКТРАЛЬНЫЕ И
ЦВЕТОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Б. Е. МАРКАРЯН

Поступила 10 марта 1972

Рассматриваются результаты спектральных и фотоэлектрических наблюдений галактик с избыточным UV-излучением. В целых спектрах почти всех галактик, обладающих интенсивным UV-континуумом, наблюдаются эмиссионные линии, свидетельствующие о присутствии горячего газа и центрального источника высокочастотного излучения в их ядрах. Результаты фотоэлектрики говорят о сходстве рассматриваемых галактик с QSO по характеру распределения энергии в спектре, откуда следует нетепловая природа их излучения. Подавляющее большинство галактик типа $s-sd$ и небольшая часть галактик типа $d-ds$ имеют конденсированные—звездоподобные ядра. Каждый четвертый из таких объектов обладает сейфертовскими особенностями. Рассматриваемые объекты представляют собой особый класс галактик, обладающих ядрами, находящимися на разных стадиях активной деятельности, включая и сейфертовскую фазу.

1. *Яркие галактики с аномальными цветовыми и спектральными признаками центральных частей.* Колориметрические и спектральные исследования [1—4] показывают, что излучение центральных частей нормальных галактик в основном обуславливают красные и желтые гиганты. Поэтому центральные части галактик обычно обладают красным цветом и спектральными признаками, характерными для звезд классов G и K.

Однако в начале 60-х годов нами было установлено существование среди ярких галактик особой категории объектов, характеризующихся спектральными признаками, свойственными звездам спектральных классов A и F, и голубым цветом центральных частей [5].

Анализ колориметрических данных ряда таких галактик, в число которых входили и некоторые сейфертовские галактики, привел к важ-

ному выводу о том, что аномальные цветовые и спектральные признаки центральных частей подобных галактик обуславливаются избыточным ультрафиолетовым излучением нетеплового происхождения, исходящим из их ядер. Вывод о присутствии нетеплового компонента в излучении ядер галактик с аномальными физическими признаками в дальнейшем подтвердился результатами их радионаблюдений, выполненных Г. М. Товмасыном [6] в Паркской обсерватории на волнах 11 и 20 см. Радионаблюдения показали, что галактики с аномальными цветовыми и спектральными признаками центральных частей обладают радиоизлучением, заметно превосходящим радиоизлучение нормальных галактик. Помимо этого было установлено, что радиоизлучение в этих галактиках локализуется в их ядерных областях, откуда следует непосредственная связь обнаруженного у них радиоизлучения с их ядрами.

Примечательно, что и избыточное ультрафиолетовое излучение в этих галактиках исходит главным образом непосредственно из их ядер. Об этом свидетельствует установленный факт возрастания ультрафиолетового избытка в этих галактиках при приближении к их центрам.

Все это подтверждало наш вывод о наличии нетеплового компонента в излучении ядер небольшой части ярких галактик, отличающихся от основной массы галактик аномальными цветовыми и спектральными признаками.

Таким образом, присутствие избыточного ультрафиолетового излучения у ядер галактик является важным феноменом, свидетельствующим о нестационарном состоянии галактик, обусловленном активной деятельностью их ядер.

После этого возникла необходимость исследования слабых галактик с целью выяснения степени распространенности среди них указанного феномена и выявления различных его оттенков.

2. *Объекты с избыточным ультрафиолетовым излучением среди слабых галактик.* а) В середине 50-х годов Г. Аро опубликовал список четырех десятков сравнительно слабых галактик, обладающих голубым цветом [7]. Они были обнаружены по разработанному им методу трехцветной фотографии. Фотоволектрия этих галактик, однако, показала, что лишь немногие из них обладают заметным ультрафиолетовым избытком. Спектральные же исследования пока не обнаружили в них необычных особенностей. Судя по всему, голубой цвет у большинства галактик Аро обуславливается богато представленными в них горячими гигантами.

В конце 50-х годов В. А. Амбарцумян и Р. К. Шахбазян опубликовали список полутора десятков слабых ($m \lesssim 19$) голубых объектов,

расположенных в окрестностях эллиптических и линзовидных галактик [8]. Эти образования, как показывают расчеты авторов, по размерам и светимостям занимают промежуточное положение между карликовыми и обычными галактиками. Природа их пока полностью не ясна. В. А. Амбарцумян полагает, что они были выброшены из ядер галактик, в окружении которых они находятся. Это представление, по-видимому, соответствует истине, так как некоторые из этих объектов, струями связаны с ядрами соответствующих галактик.

Голубые галактики Аро и объекты Амбарцумяна—Шахбазяна представляют собой определенный интерес, но по характеру распределения энергии в спектре они отличаются от рассмотренных выше ярких галактик с аномальными физическими характеристиками. Поэтому они не могут быть аналогами последних среди слабых галактик. В этом отношении некоторый интерес могут представлять голубые объекты, изредка встречающиеся среди компактных галактик Цвикки.

б) Эффективные поиски среди слабых галактик объектов, аналогичных рассмотренным выше ярким галактикам с аномальными цветовыми и спектральными характеристиками, можно производить путем массового просмотра и изучения их спектров.

С этой целью в Бюраканской обсерватории, после разработки специальной методики, в 1966 году нами был начат обзор неба с 40—52" светосильным ($D/F \sim 1/2$) телескопом системы Шмидта в комбинации с набором объективных призм.

Как известно, спектры, получаемые с объективной призмой, вообще дают мало информации, в особенности же для протяженных объектов. Именно поэтому объективные призмы до сих пор не применялись для исследования галактик. Но разработанная нами методика и малые угловые размеры слабых галактик позволили с помощью объективных призм производить массовое определение некоторых, на наш взгляд, важных физических характеристик галактик, речь о которых пойдет далее.

Обзор неба производится, в основном, с полутораградусной объективной призмой, которая в сочетании с вышеупомянутым телескопом дает очень низкую дисперсию, всего 1800 А/мм при H_1 , но позволяет при этом распространить исследования спектров на объекты вплоть до 17^м. Другие—трехградусная и четырехградусная объективные призмы, обладающие большей дисперсией, применяются для получения контрольных снимков. Повторное фотографирование спектров производится не всегда, но довольно часто. Фотографирование производится обычно на панхроматических пластинках типа F фирмы Kodak, без расширения спектра. Обзор производится на высоких галактических широтах ($b \geq 30^\circ$). В настоящее время обзором охвачена значительная часть неба, покрывающая свыше 5000 кв. градусов.

При изучении спектров слабых звезд и галактик на снимках нами выделяются объекты, в спектрах которых наблюдается необычно сильный для данного рода объектов ультрафиолетовый континуум. На полученных снимках были обнаружены свыше 500 галактик и 2000 звезд с ультрафиолетовым континуумом, сравнимым по интенсивности с континуумом звезд классов О и В. Данные об обнаруженных галактиках, обладающих интенсивным ультрафиолетовым континуумом, уже опубликованы в журнале „Астрофизика“ в виде пяти отдельных списков [9—10]. Из них последние два составлены совместно с В. А. Липовецким. В следующих разделах настоящей статьи рассматриваются общие особенности этих галактик на основании полученных для них к настоящему времени, спектральных, фотоэлектрических и морфологических данных.

3. Спектральные особенности.

а) *Непрерывный спектр.* Наиболее важной особенностью обнаруженных объектов, отличающей их от основной массы галактик, является присутствие у них интенсивного непрерывного излучения в коротковолновой части спектра. Поэтому они и были названы галактиками с ультрафиолетовым континуумом. Но, несмотря на общность этой важной характеристики, обнаруженные галактики не составляют однородный класс объектов. Щелевые спектры их показывают ряд общих свойств, но в то же время и множество различий. Подлинная классификация этих образований станет возможной после окончания их обстоятельного спектрального и фотоэлектрического исследования. Изучение же их спектров, полученных с объективными призмами, привело нас к заключению о необходимости разделения их на два основных типа, обозначаемых через *s* и *d* (начальные буквы слов *starlike* и *diffuse*). Объекты промежуточного типа обозначаются через *sd* и *ds*, в зависимости от того, к какому из основных двух типов *s* или *d* они более близки.

Проводимая нами классификация является двумерной. Каждый объект характеризуется степенью конденсированности и резкости непрерывного спектра в последовательности *s*, *sd*, *ds* и *d*, т. е. от звездopodobного до диффузного.

Разумеется, термины „конденсированный“ и „диффузный“ отражают лишь современное состояние рассматриваемых образований и не имеют прямого отношения к предполагаемым чисто эволюционным процессам конденсации или рассеяния.

Второй характеристикой является *интенсивность* ультрафиолетового излучения, которая хорошо коррелируется с *протяженностью* ультрафиолетового континуума спектра. Последняя разбивается на три подкласса, обозначаемые через 1, 2 и 3, примерно соответствующие про

тяженности ультрафиолетового континуума звезд спектральных типов O-B0, B1-B3 и B5-B7, соответственно. Цифры 1, 2 и 3 приставляются к обозначению типа конденсированности и резкости спектра, т. е. к знакам s, sd, ds и d и к ним прибавляется „e“ или „e:“, если в спектре обнаруживается или подозревается присутствие эмиссионных линий.

В опубликованных пяти списках содержатся данные для 507 объектов. Для точности статистики отметим, что десять из них являются двойными системами* с разделившимися компонентами, данные для которых в списках приведены под одним номером. Таким образом, в списках фактически приведены данные для 517 объектов. Из них 249 отнесены к типу s—sd, а остальные 268—к типу d—ds.

Галактики типа s—sd. К типу s относятся сильно конденсированные объекты, нерасширенные спектры которых по общему виду мало отличаются от звездных. Они имеют *интенсивный континуум с довольно резко очерченными краями вдоль всего спектра*. А наиболее важная их физическая особенность заключается в том, что они *сходны с квазизвездными объектами (QSO) по характеру распределения энергии в спектре*. Это подтверждается результатами фотоэлектрики, выполненной для части галактик типа s—sd. Подобно квазизвездным объектам распределение энергии в спектре у галактик типа s—sd характеризуется положительным B—V и существенно отрицательным U—B. Но небольшая часть этих галактик имеет умеренный ультрафиолетовый избыток. Такие случаи, однако, встречаются и среди объектов сейфертовского типа, нетепловая природа излучения которых ныне не вызывает никакого сомнения.

На двухцветной диаграмме (рис. 1) нанесены фотоэлектрические данные для ряда галактик типа s—sd, взятые из работ [11—13]. Эти данные получены диафрагмами, диаметры которых находятся в пределах 10" и 36".

Сравнение данных для одних и тех же объектов, полученных с диафрагмами разных диаметров, показывает, что при уменьшении размеров диафрагмы во всех случаях убывает U—B, т. е. растет ультрафиолетовый избыток. Это свидетельствует о том, что источником избыточного ультрафиолетового излучения является ядро, имеющее, судя по всему, малые размеры. При фотоэлектрики рассматриваемых галактик до сих пор употреблялись диафрагмы значительных размеров, по-

* Среди обнаруженных галактик имеются и более широкие, также как и более тесные пары. Для части из них имеются соответствующие указания в примечаниях к таблицам.

этому полученные показатели цвета фактически относятся не к ядрам, а к более обширным центральным областям. И, несмотря на это, на двухцветной диаграмме (рис. 1) галактики типа $s-sd$ в большинстве случаев попадают в область, занимаемую обычно квазизвездными объектами. За пределами этой области находятся галактики с малыми ультрафиолетовыми избытками, являющимися в основном результатом употребления больших диафрагм при измерениях этих галактик.

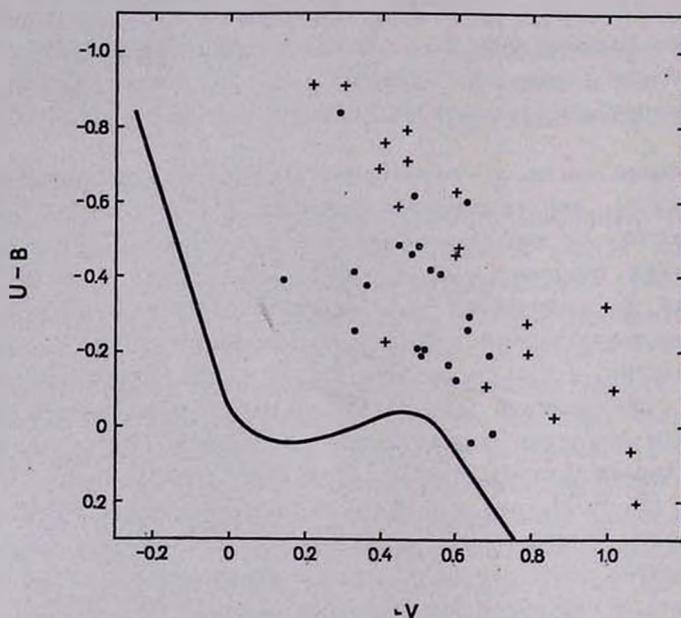


Рис. 1. Двухцветная диаграмма галактик типа $s-sd$. Крестиками отмечены объекты с широкими эмиссионными линиями, а точками—объекты с узкими эмиссионными линиями. Сплошная линия представляет собой главную последовательность звезд.

Из всего этого следует, что излучение галактик типа $s-sd$, подобно излучению ядер сейфертовских галактик и QSO, имеет нетепловую природу или, во всяком случае, содержит сильную нетепловую составляющую.

Целевые спектры этих галактик тоже говорят в пользу нетепловой природы их излучения. В частности, в их спектрах отсутствуют абсорбционные линии, присутствующие в спектрах обычных галактик. Это значит, что в излучении галактик типа $s-sd$ компонент звездного происхождения отсутствует или незначителен.

Галактики типа d—ds. К типу d—ds относятся мало конденсированные образования, у которых непрерывный спектр хотя и тянется до далекого ультрафиолета, но слабый по яркости. Их нерасширенные спектры имеют плохо очерченные размытые края вдоль всего спектра, поэтому их спектральные изображения, полученные с объективной призмой, выглядят диффузными, чем они довольно легко отличаются от звезд. Спектры галактик этого типа по своим особенностям напоминают спектры компактных ассоциаций и сверхассоциаций горячих гигантов и сверхгигантов, погруженных в газовые туманности, которые часто наблюдаются в поздних спиралях и иррегулярных галактиках типа I. И по цветовым показателям галактики типа d—ds близки к ассоциациями голубых гигантов. Ввиду всего этого можно предположить, что галактики типа d—ds представляют собой конгломераты газа и голубых гигантов. Звездное население второго типа не играет в их излучении сколько-нибудь заметной роли, т. к. в их щелевых спектрах очень редко обнаруживаются абсорбционные линии К и Н ионизованного кальция и G-полоса, наблюдаемые обычно в спектрах нормальных галактик. Не исключено, что галактики этого типа являются исключительно молодыми образованиями. Представляет большой интерес природа их ядер. В настоящее время у них не наблюдаются сильно конденсированные — звездоподобные ядра. Возможно, что ядра этих галактик прошли фазу активной деятельности и теперь либо исчерпали себя, либо находятся в стадии переизлучения и обладают очень низкой светимостью.

Во всяком случае, возможность присутствия у части галактик этого типа конденсированных ядер низкой светимости нельзя отрицать.

б) *Линейчатый спектр.* Часто в спектрах рассматриваемых галактик, полученных с объективной призмой, наряду с интенсивным ультрафиолетовым континуумом наблюдаются эмиссионные линии. Однако из-за очень низкой дисперсии ($1800\text{Å}/\text{мм}$ при H_γ) применяемой для обзора аппаратуры, на наших снимках обнаруживаются только сильные эмиссионные линии. Присутствие эмиссионных линий умеренной интенсивности удается лишь заподозрить. В ходе изучения спектров на снимках обзора нам удалось обнаружить или заподозрить присутствие эмиссионных линий примерно у 60% обнаруженных нами галактик, обладающих интенсивным ультрафиолетовым континуумом. Процент эмиссионных объектов среди указанных галактик сильно повысился после того, как начали получать для них щелевые спектры. Щелевые спектры для галактик с ультрафиолетовым континуумом получили В. В. Видман и Э. Е. Хачикян [12, 13], В. Л. Саргент [14] и М. Э. Ульрих [15] в американских обсерваториях, М. А. Аракелян

Э. А. Дибай, В. Ф. Есипов и Б. Е. Маркарян [16, 17] и Э. К. Денисюк [18] в советских обсерваториях и Н. Карози, М. Шопине и Р. Дюфло [19] во Франции.

Полученные спектры обладают различной дисперсией, от 28 до 430 $\text{Å}/\text{мм}$ и охватывают разные области спектра в интервале λ 3500 и λ 7500. Чаще всего, однако, снималась синяя область спектра и лишь изредка красная, т. к. в этом случае требуются более длительные экспозиции. Но эмиссионные линии иногда обнаруживаются только в красной части спектра, т. к. линии здесь наиболее интенсивны. *Число эмиссионных объектов среди галактик, изученных в сине-голубой части спектра, доходит до 80%, а при изучении в красной части это число доходит до 90%.* Это очень важный результат, т. к. достаточно сильная эмиссия у ядер галактик вообще встречается очень редко.

Отсюда неминуемо следует важный вывод о том, что наблюдаемая в коротковолновой части спектров рассматриваемых галактик *непрерывная эмиссия почти всегда сопровождается сильной эмиссией в линиях.* При этом в эмиссии бывают как разрешенные, так и запрещенные линии. Это в большинстве случаев водородные линии бальмеровской серии и линии нейтрального и ионизованного кислорода, гелия, азота, серы и т. д. Таким образом, следует констатировать, что рассматриваемые галактики обладают двумя важными спектральными особенностями: интенсивной непрерывной эмиссией в коротковолновой части спектра и эмиссией в линиях. Такое сочетание свидетельствует о *присутствии газа и возбуждающего его высокочастотного излучения в ядрах этих галактик.*

Вышеупомянутые авторы отождествили линии в спектрах изученных ими галактик, дали характеристики линий, определили красные смещения, иногда и некоторые другие характеристики галактик.

Следует отметить, что картина линейчатого спектра меняется при переходе от одного объекта к другому. При этом меняются как абсолютные, так и относительные интенсивности и ширины линий. Иногда меняются и протяженности линий, свидетельствующие о различии размеров зон их возникновения. При этом зона возникновения запрещенных линий не всегда превосходит по размерам зону возникновения разрешенных линий. Линии в спектрах часто наблюдаются в наклонном положении, свидетельствуя о наличии заметного вращения у ядер.

Интенсивности эмиссионных линий, как известно, зависят от массы и плотности среды, где они возникают. Эмиссионные линии в спектрах рассматриваемых галактик обладают различными интенсивностями. У одних они очень сильны, у других умеренные. Но в большинстве случаев в спектрах галактик, обладающих избыточным ультрафиолетовым излучением, наблюдаются достаточно интенсивные эмиссионные линии.

Судя по этому, масса имеющегося в их ядерных областях газа должна быть значительной.

Поскольку газ не может долго удержаться в ядрах галактик и нет основания рассматриваемые галактики считать исключительно молодыми, то присутствие газа в их ядрах должно быть скорее результатом непрерывного истечения или выброса облаков газа из недр ядер, откуда исходит и возбуждающее газ высокочастотное излучение. Такие ядра принято считать активными.

Понятие активности ядер галактик, введенное в науку В. А. Амбарцумяном [20, 21], легло в основу развиваемого им и его последователями представления об эволюции галактик.

подавляющее большинство галактик типа $s-sd$ обладает конденсированными — звездоподобными ядрами*, находящимися в активной стадии. Об этом свидетельствуют нетепловая природа излучения, сильная эмиссия в спектре и высокая светимость этих галактик. У части галактик типа $d-ds$ также, по-видимому, имеются звездообразные — активные ядра, обладающие, однако, низкой светимостью, вследствие чего они не выделяются на ярком фоне центральных частей галактик. У остальных галактик типа $d-ds$ видимо ядра прошли весь период активности и исчерпали себя, а в настоящее время в них идет интенсивный процесс звездообразования.

Другое обстоятельство, говорящее об активной природе галактик типа $s-sd$, заключается в том, что примерно четвертая часть их являются объектами сейфертовского типа, т. е. обладают ядрами, находящимися в стадии максимальной активности. Им будет посвящена следующая статья этой серии.

Следует отметить, что остальные галактики типа $s-sd$ от объектов сейфертовского типа отличаются тем, что в их спектрах в данное время не наблюдаются широкие эмиссионные линии. Но широкие линии отсутствуют и у многих квазизвездных объектов, в том числе и у части квазаров. Поэтому сходство их с квазизвездными объектами и объектами сейфертовского типа по ряду других признаков (нетепловая природа излучения, сильная конденсированность ядер, высокая светимость, сильная эмиссия в спектре и т. д.) дает достаточное основание для признания активной природы их ядер.

Наблюдаемые узкие эмиссионные линии в спектрах галактик типа $s-sd$ могут быть результатом разных причин. Прежде всего они могут быть результатом малых скоростей газа в ядрах галактик. Такая ситуация может возникнуть, например, при малых скоростях непрерыв-

* Из-за возможных ошибок при классификации, среди галактик, отнесенных к типу $s-sd$, могут встречаться объекты, не обладающие конденсированными ядрами.

ного истечения газа из ядер. Узкие линии в спектрах активных ядер можно объяснить и неблагоприятной ориентировкой галактик в отношении наблюдателя, если допустить, что облака газа всегда выбрасываются из полюсов ядер в направлении их осей вращения. Обе эти возможности, однако, нуждаются в серьезной проверке, для которой в настоящее время нет пока необходимых данных.

Имеется еще одна возможность для объяснения присутствия узких линий в спектрах галактик типа $s-sd$, которая нам кажется наиболее вероятной. Она заключается в следующем.

Судя по проценту объектов сейфертовского типа среди всех галактик, можно считать, что общая длительность пребывания галактик в сейфертовской фазе, во всяком случае, должна превосходить миллионы лет. Эта общая длительность должна быть еще больше, если допустить, что не все галактики проходят сейфертовскую фазу. С другой стороны, наблюдения указывают на быстрые изменения яркостей ядер, также, как интенсивностей и профилей спектральных линий галактик сейфертовского типа. Это указывает на быстрые изменения активности ядер и заставляет допустить *прерывистый или рекуррентный характер сейфертовской фазы*. Если сейфертовская фаза в самом деле имеет прерывистый или рекуррентный характер, то галактики типа $s-sd$ с узкими линиями можно рассматривать как объекты, родственные с сейфертовскими, но находящиеся или в досейфертовской или в послесейфертовской стадиях. Соответствующие признаки этих стадий удастся выявить в будущем, после завершения обстоятельного исследования рассматриваемых галактик.

Таким образом, можно констатировать, что *большинство рассматриваемых галактик обладает ядрами, находящимися на разных стадиях развития активной деятельности, включая и сейфертовскую как фазу максимальной активности*.

Все это приводит к выводу, что *рассматриваемые объекты представляют собой особый класс галактик с активными ядрами*. Эти галактики по своим физическим и морфологическим характеристикам занимают промежуточное положение между обычными галактиками и квазизвездными объектами.

В заключение считаю своим приятным долгом выразить глубокую благодарность академику В. А. Амбарцумяну за постоянный интерес и внимание к исследованиям, ведущимся по галактикам с ультрафиолетовым континуумом.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

ON THE NATURE OF GALAXIES WITH ULTRAVIOLET CONTINUUM I. PRINCIPAL SPECTRAL AND COLOUR CHARACTERISTICS

B. Ye. MARKARIAN

The results of spectral and photoelectric observations of galaxies with UV excess are considered. On the slit spectrograms of almost all galaxies, having a strong UV continuum, emission lines are present. This testifies to the presence of a hot gas and a central source of high frequency radiation in their nuclei. The results of photoelectric observations show that according to the character of energy distribution in their spectra, there exists a similarity between the considered galaxies and QSO-s. Therefore it follows that the radiation of these galaxies has a nonthermal character. The overwhelming majority of the s-sd type galaxies and a small part of the d-ds type, have condensed—stellar nuclei. Each fourth of these objects has the Seyfert characteristics. The considered objects represent a special class of galaxies, having nuclei in different stages of activity including the Seyfert stage.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Б. Е. Маркарян, Э. Я. Оганесян, С. Н. Аракелян, Сообщ. Бюр. обс., 30, 3, 1961.
2. Б. Е. Маркарян, Э. Я. Оганесян, С. Н. Аракелян, *Астрофизика*, 1, 38, 1965; 2, 53, 1966.
3. G. de Vaucouleurs, *Ap. J.*, Suppl. ser., No. 48, 5, 233, 1961.
4. W. W. Morgan, N. U. Mayall, *P. A. S. P.*, 69, 291, 1957.
5. Б. Е. Маркарян, Сообщ. Бюр. обс., 34, 3, 1963.
6. N. M. Toumassian, *Austr. J. Phys.*, 19, 565, 1966.
7. G. Haro, *Bol. Obs. Tonantzintla*, No. 14, 8, 1956.
8. В. А. Амбарцумян, Р. К. Шахбазян, *ДАН Арм.ССР*, 25, 185, 1957; 26, 277, 1958.
9. Б. Е. Маркарян, *Астрофизика*, 3, 55, 1967; 5, 443, 581, 1969.
10. Б. Е. Маркарян, В. А. Липовецкий, *Астрофизика*, 7, 511, 1971; 8, 152, 1972.
11. Э. А. Дибай, *Астрофизика*, 6, 350, 1970.
12. Д. В. Видман, Э. Е. Хачикян, *Астрофизика*, 4, 587, 1968; 5, 113, 1969.
13. D. W. Weedman, *Ap. J.*, 171, No. 1, Part 1, 1971.
14. W. L. W. Sargent, *Ap. J.*, 159, 765, 1970; 173, 7, 1972.
15. M. H. Ulrich, *Ap. J.*, 163, 441, 1971.
16. М. А. Аракелян, Э. А. Дибай, В. Ф. Есипов, *Астрофизика*, 6, 39, 1970; 8, 33, 1972.
17. М. А. Аракелян, Э. А. Дибай, В. Ф. Есипов, Б. Е. Маркарян, *Астрофизика*, 6, 367, 1970; 7, 177, 1971.

18. Э. К. Демисюк, *Астрон. цирк.*, 615, 4, 1971; 621, 7, 1971.
19. N. Carozzi, M. Chopinet, R. Dufloy, *Comptes Rendus, Acad. Sci. Paris*, 273, B151, 1971.
20. V. A. Ambartsumian, *Transactions of the IAU*, XIV, 145, 1962.
21. В. А. Амбарцумян, *Нестационарные явления в галактиках*, Ереван, 1968, стр. 11.