

ЕРЕВАНСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

Петров Георги Трендафилов

СРАВНИТЕЛЬНОЕ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ЯДЕР ГАЛАКТИК С ЭМИССИОННЫМИ ЛИНИЯМИ И ПЕКУЛЯРНЫХ
ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

01.03.02 Астрофизика

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель - д-р
физ.-мат. наук М.А.Ареколян

ЕРЕВАН - 1979 г.

В В Е Д Е Н И Е

Началом систематического изучения спектров галактик можно считать пионерскую работу Слайфера (1925), определившего лучевые скорости 41 галактики. Эпизодические работы по спектральным исследованиям галактик появлялись и до этого. Фат, (1908), Слайфер (1917), Кемпбел и Мур (1918) первыми отметили присутствие эмиссионных линий в ядрах галактик. Итогом огромной работы по определению лучевых скоростей галактик на Ликской и Маунт Вилсоновской обсерваториях явился каталог лучевых скоростей 800 галактик Хьюмаса, Мэйодла и Сэндиджа (1956). В этой работе помимо лучевых скоростей были определены и спектральные классы и звездные величины 576 галактик. Отмечены все галактики, в спектрах которых наблюдалась линия $[O II] \lambda 3727$ ионизованного кислорода, а также некоторые галактики, в спектрах которых наблюдались и другие эмиссионные линии.

К 1978 году лучевые скорости были определены примерно для 5000 галактик. Предпочтение, при этом, отдавалось более или менее экзотическим объектам — галактикам Сейферта, Маркаряна, Цвикки и др. Оценки цвета к настоящему времени проведены для примерно 1000 галактик, а детальная фотометрия хотя бы в двух цветах делалась примерно для 100 ярчайших объектов.

В отличие от спектральных исследований галактик, спектрофотометрические исследования крайне бедны. В 1943 году Сейфертом были детально описаны спектры 6 из 12 исследованных ими галактик с ядерной эмиссией, оказавшихся представителями специфического класса внегалактических объектов, названных позднее сейфертовскими галактиками. К настоящему времени известно более 150 подобных объектов и это число непрерывно растет, в значительной степени, за

счет ярких объектов. Примерно для половины из них были определены эквивалентные ширины, относительные интенсивности, светимости и потоки в эмиссионных линиях, профили эмиссионных линий и физические условия в зонах, ответственных за эмиссию. В результате сейфертовские галактики изучены лучше и полнее, чем все остальные.

Остерброк (1978) приводит следующее определение феномена сейфертовской галактики: "Сейфертовские галактики - это галактики с необычно яркими ядрами, показывающими сильные, широкие эмиссионные линии атомов высокой степени ионизации. Часто наблюдается сильный синий или ультрафиолетовый континуум незвездного происхождения". Фат (1908) и Слайфер (1917) описывали эмиссионные линии и их ширины в *NGC* 1068, Кемпбел и Мур (1918) - в *NGC* 4151, Хаббл (1926) - в *NGC* 1068, 4051 и 4151, Майолл (1934) - в *NGC* 3516, 4151 и 7469. Сейферт (1943) включил в свой список 12 объектов, с широкими эмиссионными линиями, четыре из которых позднее были исключены Бербицзем и др. (1963). После работы Сейферта к этим объектам вернулись только в 1959 году, когда Бербицж и др. (1959) заново исследовали *NGC* 1068, а Вольтер (1959) сделал первые теоретические попытки объяснения этого феномена. Картина несколько прояснилась в 1968 году, когда была проведена первая конференция по Сейфертовским галактикам и сходным объектам. Видман (1970) впервые после Сейферта обратил внимание на то, что Сейфертовские галактики по профилям линий можно разделить на две большие группы с прототипами *NGC* 1068 и 4151. В дальнейшем эта идея была развита более подробно Хачикяном и Видманом (1971) в результате чего к сейфертовским галактикам типа I (*NGC* 4151 по Видману) стали относить галактики с широкими разрешенными и узкими запре-

щёнными линиями. К сейфертовским галактикам типа 2 (*NGC* 1068 по Видману) относятся галактики, у которых широки и разрешенные, и запрещенные линии. У них, однако, запрещенные линии очень сильны — до 30 раз сильнее по сравнению с сейфертовскими галактиками типа *NGC* 4151. Маркрян (1973) показал, что и по своим фотометрическим особенностям (положение на двухцветной диаграмме) сейфертовские галактики образуют две группы. Для одной группы $\overline{B - V} = 0,43$ $\overline{U - B} = -0,71$ (все они относятся к сейфертовским галактикам типа *NGC* 4151), а для второй $\overline{B - V} = 0,85$ и $\overline{U - B} = -0,05$ (они совпадают с сейфертовскими галактиками типа *NGC* 1068). Из результатов Шрамека и Товмасына (1975, 1976) следует, что с точки зрения радиоизлучения, более активны сейфертовские галактики типа *NGC* 1068.

В последнее время есть указания на то, что разделение сейфертовских галактик на два типа менее резко — Остерброк и Коски (1976), Остерброк (1977), Аракелян (1977), Коски (1978). В указанных работах Остерброк и Коски вводят промежуточный тип сейфертовских галактик с прототипами *NGC* 4151 и Мрк 6. Для полноты укажем некоторых авторов, которые занимались спектрофотометрией сейфертовских галактик и радиогалактик: Остерброк и Паркер (1965), Лисай и Проник (1965, 1967), Либай, Есипов и Проник (1967), Либай и Есипов (1968), Воронцов — Вельяминов и Либай (1968), Рубин и Форд (1968), Видман и Хачикян (1968, 1969, 1971), Оук и Сарджент (1968), Андерсон (1970), Вамплер (1971), Шилд, Оук и Сарджент (1972), Шилд и Оук (1975) и ряд других. В последние годы в этой области работают Остерброк, Коски, Филлипс, Миллер, Боксенберг, Мартин и др.

Из изложенном следует, что к настоящему времени множество сей-

Сейфертовских галактик, а также радиогалактик, хорошо изучено как спектрофотометрически, так и с точки зрения физических условий светящегося в них газа.

Иначе обстоит дело с "нормальными галактиками". На результатах спектрофотометрических исследований таких галактик мы остановимся после того, как перечислим несколько групп галактик, выделенных на основе какой-либо peculiarity.

Большой группой галактик, интерес к которым все время возрастает, являются галактики Маркаряна. Это - объекты с избыточной интенсивностью в ультрафиолетовой области спектра, выявленные в процессе обзора неба с метровым телескопом Шмидта Бюраканской астрофизической обсерватории с полутораградушной объективной призмой (Маркарян, 1967). Работами Хачикяна и Видмана, Аракеляна, Либая и Есипова, Маркаряна, Сарджента, Ленисюка, Липовецкого, Копилова, и др. примерно для тысячи галактик Маркаряна определены лучевые скорости, а Видман, Ульрих, Аракелян, Либай, Лютый, Хухра и др. примерно для 200 из них определили UVV величины. Упомянутыми авторами показано, что примерно 90 % галактик Маркаряна содержит в своих спектрах эмиссионные линии, около 10 % являются объектами сейфертовского типа. Среди них найдено также несколько квазаров.

Следует отметить, что избыток объектов с эмиссионными линиями у галактик с интенсивным ультрафиолетом был впервые обнаружен в результате спектральных наблюдений галактик Аро, обнаружившего 44 подобных галактики посредством UVV наблюдений с камерой Шмидта (1956).

Другой выборкой галактик, по-видимому, содержащей избыток объектов сейфертовского типа являются компактные галактики Цикки (1971). Обширные спектральные исследования этих галактик, произведенные Сарджентом (1970) и Кунтом и Сарджентом (1978), обнаружили

среди них большое число объектов сейфертовского типа. Однако, точно судить о статистике подобных объектов среди всех компактных галактик затруднительно, т.к. в обеих цитированных работах для наблюдений отбирались лишь голубые галактики.

К компактным галактикам, по-видимому, примыкают галактики высокой поверхностной яркости, из списка, составленного Аракелянцем (1975) на основании фотометрических данных из Каталога галактик и скоплений галактик (КГСГ) Цвикки и соавторов (1961-1968) и размеров, приведенных в Морфологическом каталоге галактик (МКГ) Воронцова - Вельяминова и соавторов (1962-1966). Основанием для составления подобного списка явились статистические данные о корреляции частоты встречаемости эмиссионных линий с поверхностной яркостью (Аракелян 1974). Лучевые скорости этих галактик были определены Аракелянцем, Дибаяем и Есиповым (1975 а, б, 1976 а, б), Дорошенко и Теребижем (1975) и Дибаяем, Дорошенко и Теребижем (1976). Спектрофотометрически галактики высокой поверхностной яркости исследовались практически только Остерброком и Филлипсом (1977) и Остерброком (1977). Ими были исследованы только галактики, отмеченными Аракелянцем, Дибаяем и Есиповым как возможные объекты сейфертовского типа и была подтверждена принадлежность к этому типу 6 галактик высокой поверхностной яркости. (Акн 79, 120, 202, 347, 374, 564). Галактики высокой поверхностной яркости интересны и тем, что среди них найдены или заподозрены источники рентгеновского излучения.

Как отмечалось, сейфертовские галактики обладают ярко выраженными спектральными особенностями, отличающими их от других галактик. Остальные из перечисленных групп объектов столь четкой спектральной peculiarности не проявляют. Тем не менее, мы отмети-

ли те особенности, на основании которых они были выделены в отдельные группы, т.к. имеет смысл рассмотрение вопроса о том, существует ли хотя бы слабая корреляция этих особенностей со спектральными особенностями или физическими параметрами, характеризующими, в частности, состояние газа в этих объектах. Разумеется, для этого необходимо их сравнение с нормальными галактиками.

Определение нормальной галактики, по-видимому, является наиболее трудным. Отметим, что, согласно Дж.Хею (1978) галактику можно считать нормальной, если она соответствует всем оптическим критериям классификации Хаббла и не обладает какими-либо особенностями структуры или исключительной яркостью. В настоящей работе мы будем исходить из того, что галактика является нормальной, если она не входит ни в один из упомянутых выше списков.

После работ Мэйолла (1939, 1958) и Бэрбицж и Бэрбицжа (1965) стало ясным, что наличие эмиссионных линий в галактиках ранних морфологических типов скорее правило, чем исключение. Слабые линии низкого возбуждения — $[O II] \lambda 3727$, $[N II] \lambda 6584$ и H_{α} могут наблюдаться если есть всего несколько горячих звезд. Для галактики M 51 достаточно всего 50 таких звезд (Видман 1977). В 1958 году Мэйолл докладывал, что в спектрах 18 % эллиптических галактик, 48 % линзовидных галактик, 62 % галактик типа Sa, 80% галактик типа Sb, 85 % галактик типа Sc и почти всех иррегулярных галактик присутствует дублет $[O II] \lambda\lambda 3726, 3729$ ионизованного кислорода.

В своем исследовании двойных галактик Пейдж (1952) отмечает, что в спиральных и неправильных галактиках в случае присутствия линии $[O II] \lambda 3727$, всегда присутствует и линия H_{α} , причем чаще она интенсивнее, чем линия $[O II]$. Джонсон (1953), исследуя

диффузные туманности в Галактике, отмечает, что после H_{α} , чаще всего наблюдается линия $[N II] \lambda 6584$, а могут присутствовать и линии $[S II] \lambda \lambda 6717, 6731$, $[O III] \lambda \lambda 4959, 5007$, $[O II] \lambda 3727$, H_{β} и др. Таким образом, можно утверждать высокую частоту встречаемости не только линии $[O II] \lambda 3727$, но и других упомянутых линий.

Тем не менее, как отмечалось, с точки зрения физических условий, ядра нормальных галактик исследованы в гораздо меньшем количестве, чем пекулярные внегалактические объекты. Очевидно, это обусловлено существованием точки зрения, что ядра нормальных галактик с эмиссионными линиями по своим физическим условиям идентичны областям $H II$ в спиральных рукавах Галактики. Однако, имеющиеся данные указывают на существование заметных различий в параметрах, характеризующих условия в ядрах нормальных галактик с эмиссионными линиями, с одной стороны, и в спиральных рукавах, с другой. Далее, наблюдаются различия в физических условиях при переходе от поздних морфологических типов к ранним.

Бэрбидж и Бербидж (1962, 1965) исследовали ядерные области почти всех галактик, отмеченных Хьюмасоном и др. (1956) как объекты, показывающие в своих спектрах эмиссионные линии. Ими наблюдалась красная область спектра около линии H_{α} . Особое внимание обращалось на отношение $[N II] \lambda 6584 / H_{\alpha}$ как на возможный индикатор изменения условий ионизации и возбуждения, содержания ионов и химического состава. Их результаты можно суммировать следующим образом: в ядрах всех E, SO и Sa -галактик газ, если он имеется, локализован вблизи центральных областей. Генетически Sa -галактики ближе к Sb и Sc , чем к E - и SO -галактикам. Отношение $[N II] \lambda 6584 / H_{\alpha} = 0,2 - 0,3$ в спиральных рукавах (как и в нашей Галактике) и становится больше 1 в ядрах (вплоть до пол-

ного исчезновения H_{α}). В галактиках типа E и SO, как и в центральных частях S - галактик, отношение $[N II] \lambda 6584 / H_{\alpha} \geq 1$ и возможно N/H выше нормального для электронных температур 10–20 тысяч градусов.

Одним из первых, кто интерпретировал изменение относительных интенсивностей линий в галактиках как изменение химического состава, является Аллер (1942). Он установил градиент отношения $[O III] / H_{\beta}$ в галактике M 33 и показал, что параллельно с изменением отношения $[O III] / H_{\beta}$ происходит и слабое изменение отношения $[O II] / H_{\beta}$. В дальнейшем было установлено, что градиент отношения $[O III] / H_{\beta}$ может быть очень большим. Для галактики M 101 это отношение меняется в 100 раз от ядра к спиральным рукавам. Бэрбидж и Бэрбидж (1965), Пеймберт (1968) и Пеймберт и Спинрад (1970) наблюдали градиенты отношения $[O II] / [N II]$, $[N II] / [S II]$, $[N II] / H_{\alpha}$. Пеймберт (1968), исследуя галактики M 51 и M 81 установил факт изменения химического состава и в частности содержания кислорода и азота по сравнению с солнечным и отметил, что в ядрах отношение N/H вероятно в 2–6 раз больше. Как уже отмечалось, отношение $[N II] / H_{\alpha}$ меняется от примерно 0,3 в спиральных рукавах до 10 и больше в ядрах галактик. Бэрбидж (1970) приводит два возможных объяснения этого факта:

а/ температура в ядрах и в рукавах существенно различна. В ядерных областях источники радиации являются в основном звезды гиганты спектрального класса K. Газ нагревается кинетическим способом (например звездным ветром) до электронных температур порядка 10–20 тысяч градусов.

б/ возможно изменение относительного содержания ионов N^{+} / H^{+} , причем это отношение в ядрах выше, чем во внешних частях

галактики.

Морган и Остерброк (1969) рассматривали исключенную Бэрбидж и Бэрбиджем возможность изменения отношения $[N II] / H_{\alpha}$ как следствие изменения степени ионизации только азота, а не как изменения температуры или химического состава газа.

Градиент химического состава газа по диску спиральных галактик специально исследовали Сирл (1971), Шилдс (1974), Смит (1975), Комт (1975), Йенсен, Стром и Стром (1976) и др. Логарифм отношения $[O III] / H_{\beta}$ в тех областях H II, которые наблюдал Сирл (1971), менялся в границах от -1 до $+1$, при этом в той же области отклонения от среднего невелики $- \pm 0,1$. Все другие отношения $- [N II] / H_{\alpha}$, $[O II] / [N II]$ и т.д. просто коррелируют с отношением $[O III] / H_{\beta}$, образуя таким образом однопараметрическое семейство. На базе простой ионизационной модели области H II Сирл рассмотрел некоторую общую схему, учитывая и эффект стратификации. Рассматривалась область с двумя зонами $- VI$ и VII (зоны $[O II]$ и $[O III]$, соответственно по терминологии Дибая и Есипова). В зоне VI излучают ионы H^+ , He^0 , O^+ и в принципе Ne^+ . В охлаждении всего объема газа принимают участие ионы O^+ , N^+ и Ne^+ . В зоне VII излучают ионы H^+ , He^+ , O^{++} , N^{++} , Ne^{++} . В этой зоне главным охлаждающим агентом являются ионы O^{++} .

Области H II, бедные металлами, будут высоко возбужденными. С другой стороны, если содержание тяжелых элементов превышает примерно в два раза солнечное, то область H II с таким химическим составом будет низкого возбуждения. Сирл отмечает, что градиент химического состава во внутренних областях галактик не наблюдается, но такой градиент существует в галактическом диске.

Шилдс (1974) исследовал более детально вопрос, рассмотрен-

ный Сирлом, и подтвердил его результаты и выводы. Им найден большой градиент в содержании кислорода, при этом градиенты O^+ и O^{++} различны, что подтверждает предположение о том, что эти ионы светятся в разных зонах.

Согласно Сирлу (1971) отношение O / H уменьшается примерно в 2 раза, а отношение N / O — примерно в 10 раз от ядер к спиральным рукавам. Смит (1975), рассматривая области $H II$ в ближайших галактиках, находит большой градиент O / H , а следовательно меньший градиент N / O .

Кроме интенсивности эмиссионных линий и их отношений в областях $H II$ существуют и другие факты, интерпретируемые как изменения химического состава при переходе от центральных частей галактик к периферии.

а/ существует корреляция в зависимости "период — светимость" для цефеид и их расстояний от центра Галактики. В свою очередь цефеиды, более близкие к центру Галактики, по — видимому, богаче металлами (ван ден Берг 1958).

б/ отношение числа самых ярких синих гигантов к красным меняется от центральных областей к периферии галактик. (Уокер 1964, Пеймберт и Спинрад 1970).

в/ интенсивности звездных абсорбционных характеристик в ядрах галактик и в окрестностях ядер различны (Мак Клур 1969, Спинрад и др. 1971, Спинрад и др. 1972).

г/ статистически у звезд гигантов спектрального типа K орбиты имеют большие перигелические расстояния, чем у звезд со слабой линией CN — т.е. с меньшим отношением металлы / водород — (Джэйнс и Мак Клур 1972).

д/ галактические планетарные туманности указывают на то, что содержание серы, кислорода, азота и гелия уменьшается с уве-

личением расстояния от центра Галактики (Д'Орорико и др. 1976, Торрес - Пеймберт и Пеймберт 1977). Коллин Суфрен и Жоли (1976) рассматривали градиент интенсивности линий по диску спиральных галактик.

Приведенные данные показывают целесообразность изучения физических условий в ядрах нормальных галактик с эмиссионными линиями и их сравнения, с одной стороны, с ядрами пекулярных внегалактических объектов, а с другой - с диффузными туманностями в нашей и ближайших галактиках. Подобному сравнительному исследованию и посвящена настоящая работа.

В первой главе рассматриваются вопросы, связанными с программой наблюдений, аппаратурой и методикой. Приводятся эквивалентные ширины эмиссионных линий в ядрах 50 галактик несейфертовского типа. Подробно обсуждается выбор объектов в связи с ожидаемыми результатами, а также приборы - телескопы и светоприемники. Приводятся результаты исследования отношения $[N II] / H\alpha$ в ядрах галактик несейфертовского типа и диффузных туманностях.

Во второй главе определены физические условия и оценено содержание некоторых ионов в ядрах галактик с эмиссионными линиями. Обсуждаются методы определения электронных температур и электронных плотностей изучающего газа и содержания ионов.

В третьей главе приведены содержания ионов и физические параметры в ядрах сейфертовских галактик и радиогалактик. Рассматриваются и некоторые корреляционные зависимости между показателями цвета и светимостями и потоками в линиях для сейфертовских галактик типа NGC 4151. Делается сравнение с подобными зависимостями, рассмотренными ранее другими авторами.

В четвертой главе проведено сравнение физических условий и содержания ионов в объектах с эмиссионными линиями - планетарных

туманностях, областях H II, ядрах галактик с эмиссионными линиями, радиогалактиках с узкими и широкими линиями и сейфертовских галактик. Обсуждается отношение $[N II] / H_{\alpha}$ и зависимость $([N II] / H_{\alpha}) / ([S II] / H_{\alpha})$.

На защиту выносятся результаты спектрофотометрического исследования ядер 50 галактик с эмиссионными линиями в плане сравнения с пекулярными внегалактическими объектами.

Новое в настоящей работе:

1/ Получены спектры и определены эквивалентные ширины эмиссионных линий в красной области спектра для 50 ядер нормальных галактик, больше, чем для 40 из них впервые.

2/ Определены относительные интенсивности эмиссионных линий и сделана оценка электронных плотностей в областях, излучающих в запрещенных линиях.

3/ Примерно для 250 объектов с эмиссионными линиями оценено содержание некоторых ионов.

4/ По наблюдательному материалу, предоставленному Д.В. Видманом, определены эквивалентные ширины эмиссионных линий для 20 сейфертовских галактик типа *NGC 4151*, для большинства – впервые.

5/ На большем наблюдательном материале рассмотрены некоторые зависимости между показателями цвета и светимостями и потоками в линиях для сейфертовских галактик типа *NGC 4151*, рассмотренные ранее Аракеляном (1977).

Г Л А В А I

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЯДЕР ГАЛАКТИК С
ЭМИССИОННЫМИ ЛИНИЯМИ

I. ПРОГРАММА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В последние годы интерес к эмиссионным внегалактическим объектам непрерывно возрастает. Интенсивные исследования сейфертовских галактик начались сразу после того, как было установлено, что по спектральным особенностям они сходны с квазизвездными объектами. Поскольку сейфертовские галактики, будучи более близкими и яркими, легче поддаются исследованиям, то можно было надеяться, что их изучение будет способствовать также пониманию природы квазаров. Одновременно с этим было установлено, что многие радиогалактики спектрофотометрически также подобны сейфертовским галактикам (например 3C 120 и 390.3), а некоторые сейфертовские галактики известны как объекты с мощным радиоизлучением — например *NGC 1275*. Особенно интенсивное спектрофотометрическое исследование радиогалактик и сейфертовских галактик примерно с одинаковым спектральным разрешением на одном и том же телескопе ведется в настоящее время Остерброком, Коски, Филлипсом и Миллером на Ликской обсерватории. Подавляющее большинство спектрофотометрических данных о сейфертовских галактиках и радиогалактиках получено этой группой. Аллер, Калер, Баркер, Пеймберт, Торрес — Пеймберт, Киллен, Харлоу, Люфур, Сирл, Смит, Шилд и многие другие активно занимались и занимаются изучением планетарных и диффузных туманностей в нашей и других галактиках. Из-за малых угловых размеров выявление и изучение планетарных и диффузных туманностей в других галактиках возможно только для ближайших из

них. Все, что нам известно о подобных объектах, основывается на исследованиях указанных авторов. Эти исследования немногочисленны и относятся к нескольким планетарным туманностям в Магеллановых облаках и около 50 диффузным туманностям в примерно десяти галактиках. В то же время нормальные галактики остались в стороне от интересов больших обсерваторий и в большинстве случаев их спектральные исследования сводятся к определению лучевых скоростей. Из примерно 4500 объектов, приведенных во Втором пересмотренном каталоге ярких галактик Вокулера и др. (1976), спектрофотометрически исследована только 171 галактика. При этом для 44 из них определялось только распределение энергии в непрерывном спектре. Из упомянутых 171 объектов 19 являются сейфертовскими галактиками, а для 37 галактик данные очень скудны. Таким образом остается 71 галактика несейфертовского типа, для которых проводились спектрофотометрические исследования. Из них 17 являются галактиками Маркаряна, 9 — галактиками Цвикки, 11 — галактиками с пекулярными ядрами. После выхода в свет этого каталога появилось довольно много данных по спектрофотометрии галактик, но они также относятся главным образом к сейфертовским галактикам и радиогалактикам. Такие данные есть примерно для 60 сейфертовских галактик и для примерно 30 радиогалактик. Нормальным галактикам посвящено очень мало работ, среди которых выделяется работа Кохен (1976), изучавшей эмиссию в линии H_{α} в диске 53 галактик, в основном спиральных. По существу в этом исследовании наблюдалась бленда $H_{\alpha} + [NII]$ $\lambda\lambda$ 6548, 6584.

Ранее отмечалось изменение отношения $[NII] / H_{\alpha}$ при переходе от спиральных рукавов к ядрам галактик, обнаруженное Бербицк и Бербицжем. С другой стороны, из опубликованных работ по

спектрофотометрии было установлено, что это отношение в ядрах сейфертовских галактик сильно отличается от его значения в ядрах нормальных галактик. Поэтому кажется весьма целесообразным получить достаточно однородные данные о ядерных областях нормальных галактик. Существует мнение, что в ядрах нормальных галактик условия таковы, как в областях H II. По-видимому этим можно в большей степени объяснить тот факт, что нормальные галактики изучены слабо. Однако ещё первые работы по исследованию физических условий в нормальных галактиках (Пеймберт, 1968 для M 51 и M 81 и Вернер, 1973 – для M 51, M 81 и M 64) показали, что ядра нормальных галактик это не просто колоссальные области H II. В ядрах часто наблюдается сильная линия [O I] λ 6300, линии [S II] $\lambda\lambda$ 6717, 6731 тоже очень сильны. Линия H α обычно сильнее линии [O II] λ 3727. Между тем, самой сильной линией в областях H II обычно является линия [O II] λ 3727, линии [O I] слабы, а линии серы [S II] $\lambda\lambda$ 6717, 6731 практически всегда слабее линий [N II] $\lambda\lambda$ 6548, 6584.

В связи с этим кажется полезным получение достаточного по объему материала, чтобы можно было в сравнительном плане изучить физические условия, содержание ионов, некоторые возможные статистические зависимости, связывающие отдельные параметры относящиеся к ядрам нормальных и активных галактик. Для этой цели было подобрано около 200 сравнительно ярких галактик, не относящихся к сейфертовскому типу, в спектрах которых другими авторами ранее наблюдалась хотя бы одна из линий H α , [N II] $\lambda\lambda$ 6548, 6584 и [S II] $\lambda\lambda$ 6717, 6731. Среди выбранных нами объектов встречаются все основные морфологические типы.

Программа наблюдений была составлена в предположении, что они будут проводиться на телескопе ЗТА 2,6 м Бюраканской астрофизиче-

ской обсерватории. К сожалению, по независящим от нас причинам, выполнение этой программы на ЗТА оказалось невозможным. Благодаря любезности руководства Крымской станции ГАИШ часть намеченной программы удалось осуществить на телескопе ЗТЭ 125 см этой станции.

2. АППАРАТУРА

Диаметр главного зеркала ЗТЭ Крымской станции ГАИШ — 1250 мм, а диаметр касегреновского зеркала — 310 мм. Фокусное расстояние первичного фокуса 5040 мм, а фокусное расстояние касегреновского фокуса — 21250 мм. Таким образом, это классический касегреновский телескоп с отношением $D/F = 1 : 17$. Масштаб изображения около $10'' / \text{мм}$. В качестве гйда используется рефрактор с диаметром объектива 250 мм и фокусным расстоянием 4000 мм — $D/F = 1 : 16$. При масштабе изображения $51,5'' / \text{мм}$ поле зрения около $20'$. Спектральная аппаратура к телескопу содержит четыре спектрографа и один спектрометр. Для наших наблюдений использовались только два спектрографа.

а/ спектрограф УАГС

Спектрограф УАГС, производство народного предприятия "Карл Цейс", Цена, ГДР, при общем весе около 50 кг может быть применен к телескопам с диаметром зеркала равным или большим 60 см. Благодаря возможности замены коллиматора, спектрограф может быть согласован с телескопами от $F/3$ до $F/18$. В качестве диспергирующего элемента применяются дифракционные решетки с зацрихованной частью 80×110 мм. В комплект входят четыре решетки: одна с 325 мм^{-1} , работающая в первом порядке и три решетки с 651 мм^{-1} , работающие в первом, втором и третьем порядках соответственно. Спектрограф имеет три камеры: две камеры Шмидта с фокусными расстоя-

⊛ Кэм Бербарский УАГС цена и расчеты $1200/170$ м.д.

ниями 110 и 175 мм соответственно и одна камера Шмидта – Кассегрена с внешним фокусом и фокусным расстоянием 150 мм. Диаметр коллимированного пучка 75 мм.

В таблице I приводятся дисперсии, которые можно получить, комбинируя различные камеры и решетки. I, II и III в скобках означает соответствующий порядок спектра.

Таблица I

Некоторые параметры спектрографа УАГС

F кам.	Решетка ($[\text{мм}^{-1}]$)				
	[мм]	325(I)	651(I)	651(II)	651(III)
110		268	136	70	47
175		167	86	44	29
150		195	101	51	34

На рисунке I приведена оптическая схема универсального дифракционного астрономического спектрографа, а на рисунке 2 – внешний вид. На рисунке 3, взятом из работы Гайера (1975), представленная зависимость "граничная звездная величина – время экспозиции" для 106 см телескопа обсерватории Хоер Лист, ФРГ, при дисперсии 47 Å / мм, а на рисунке 4 – камера Шмидта – Кассегрена, использованная нами.

б/ А – спектрограф

Спектрограф сконструирован В.Ф.Есиповым и П.В.Шегловым. В качестве коллиматора применена склеенная двойная ахроматическая линза с диаметром 60 мм и фокусным расстоянием 960 мм. Диаметр коллимированного пучка 56,5 мм. В спектрографе предусмотрены две

камеры. Менисковая камера с апертурой 80 мм и фокусным расстоянием 50 мм и камера для Э 0 П с объективом "Биотар" — диаметр свободного отверстия 68 мм и фокусное расстояние 58 мм ($A = I : 0,85$) Щелевой узел спектрографа состоит из двух алюминированных пластинок размерами 40 x 40 мм. Вес спектрографа около 40 кг. В качестве диспергирующего элемента используются две решетки с 600 мм^{-1} и 1200 мм^{-1} .

Поскольку остальная спектральная аппаратура нами не применялась, то мы её описывать не будем.

В таблице 2 приведены дисперсии, которые можно получить при различных комбинациях камер и решеток на А — и Б — спектрографах телескопа З Т Э. В таблицу включены и данные для Б — спектрографа, не использованного нами, так как менисковая камера является общей для обоих спектрографов. (Дибай, 1969).

Таблица 2

Некоторые параметры А-спектрографа

Спектрограф	А — спектрограф	А, Б — спектр	Б — спектр
Решетка [мм^{-1}]	Камера		
	Биотар + ЭОП F=58 D=68	Менисковая F=50 D=80	Кинон + ЭОП F=300 D=200
600	225	300	64
1200	110	140	25

Обе решетки профилированы с высокой степенью концентрации света в первом порядке. На рисунке 5 показан А — спектрограф с Э 0 П на телескопе З Т Э и блок питания для Э 0 П.

Во всех случаях спектры получались при помощи однокаскадного электрооптического преобразователя с электростатической фо-

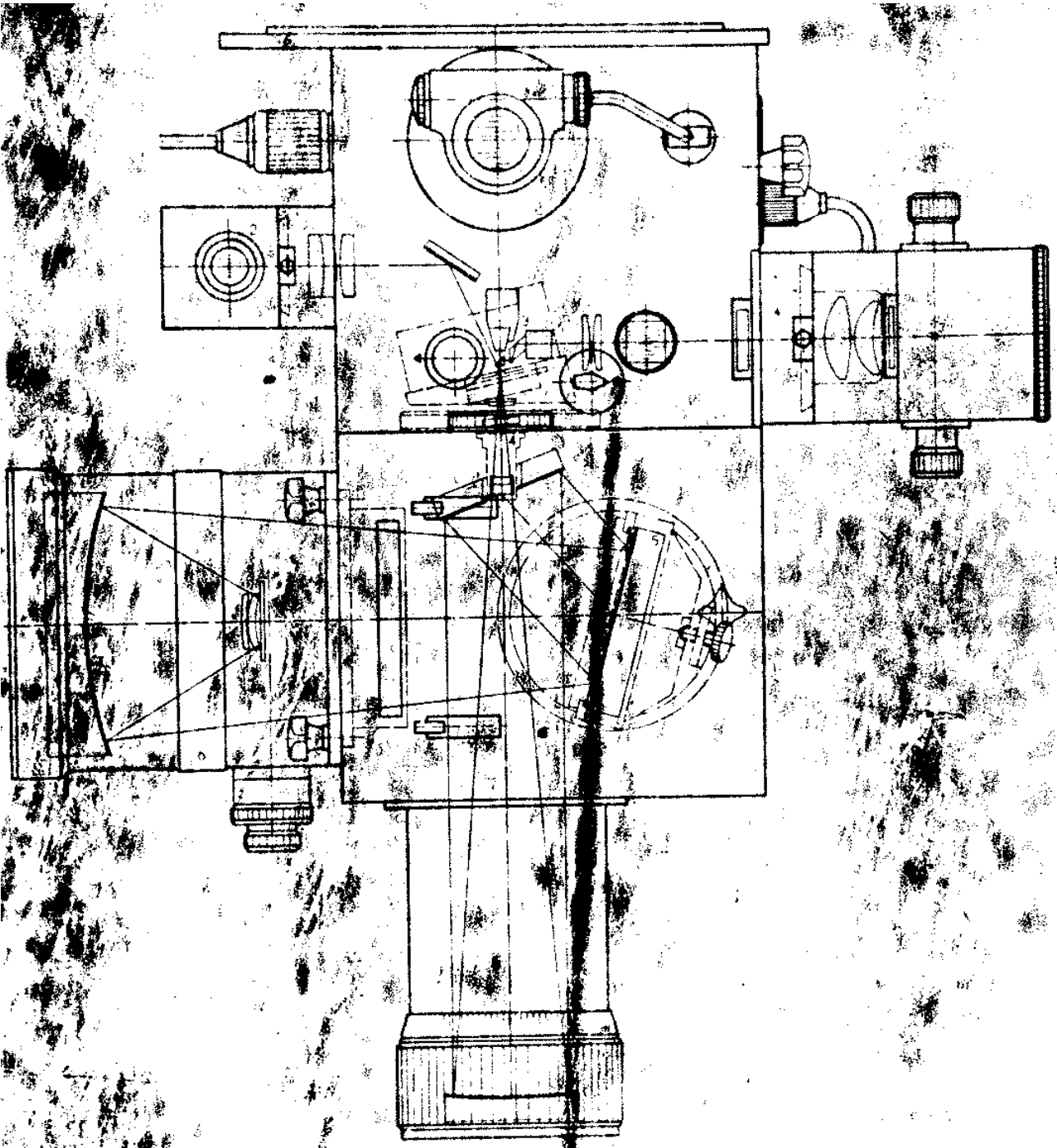


Рис. 1

Оптическая схема универсального астрономического дифракционного спектрографа УАГС.

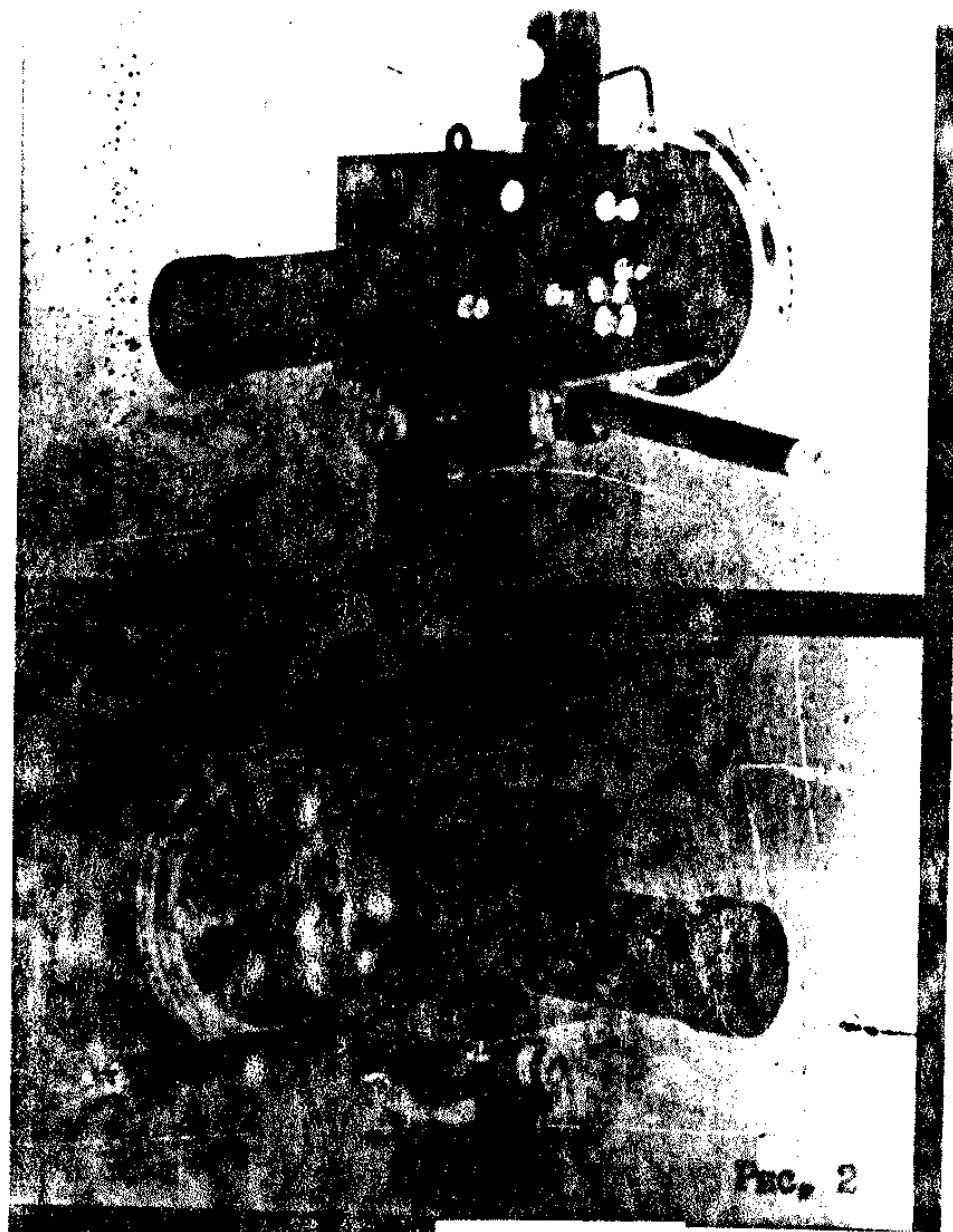


Рис. 2

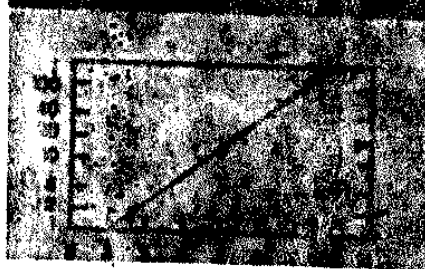


Рис. 3

Рис. 2 - Внешний вид спектрографа УАГС.

Рис. 3 - Зависимость "углового разбегания - время экспозиции" для 106 см телескопа обсерватории Исер Лиса, СРГ. Дисперсия 27 Å / мм, ширина спектра - 0,55 мм.

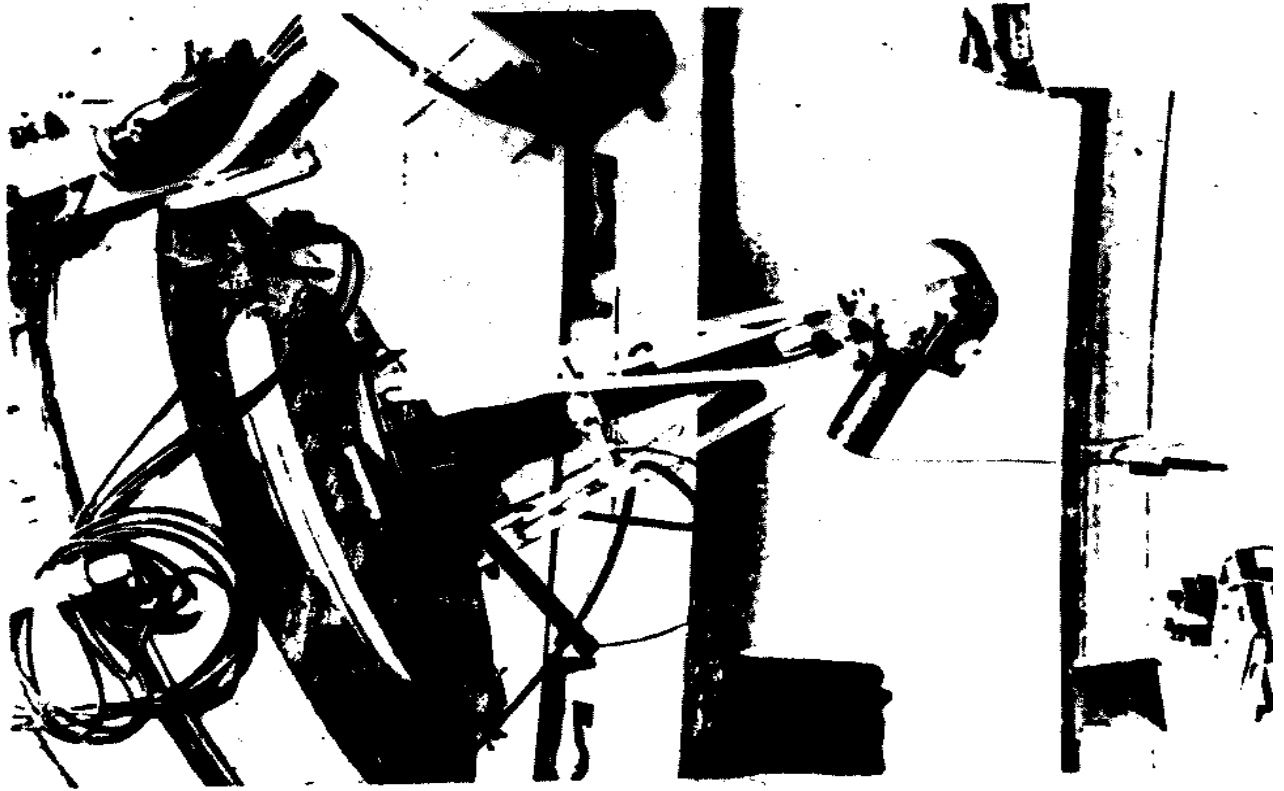
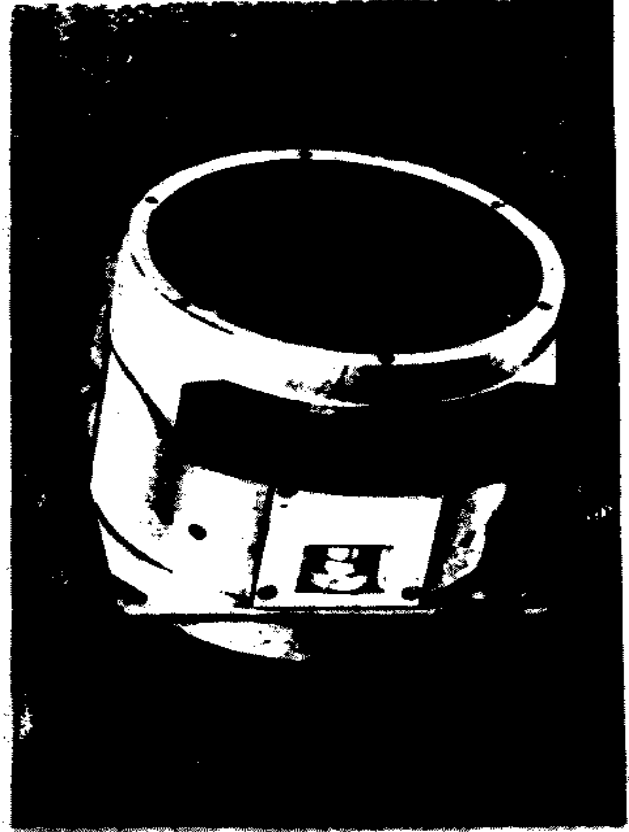
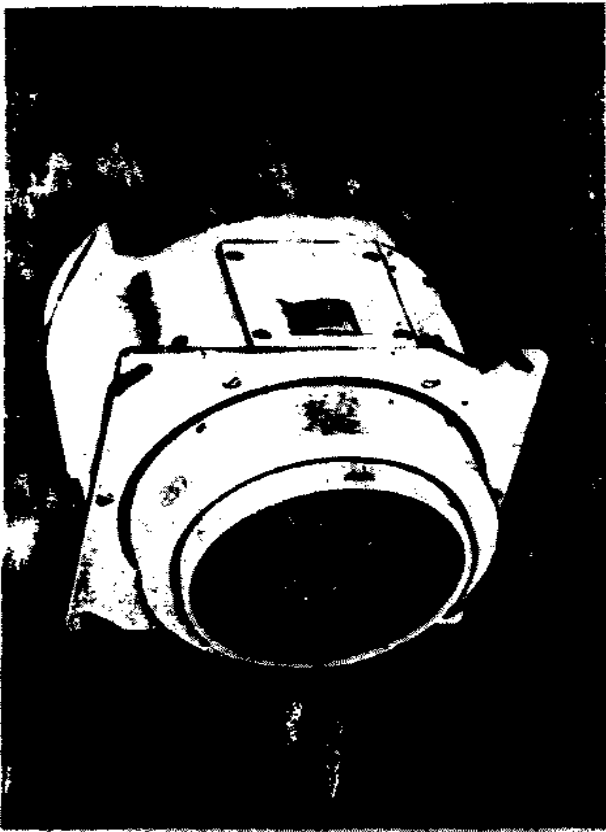


Рис. 4 - Камера - мидта - Кассегрена к спектрографу ВАХ.

Рис. 5 - А - спектрограф с ДОН к телескопу БТД 125 см
 радиостел. станции РА-3.

кусировкой. На электроды подавалось ускоряющее напряжение 12–13 киловольт. Спектры получались на эмульсии А 600 с подсветкой по плотности около 0,3 и на эмульсиях Кодак I03 а0 и I03 ад как с подсветкой, так и без подсветки. Все пленки проявлялись в проявителе Д I9 при температуре 19°C при постоянном перемещивании. Время проявления 7 минут. На рисунке 6 показано изменение коэффициента контрастности для эмульсии А 600 без подсветки и с подсветкой длительностью 1/25, 1/50 и 1/100 сек соответственно.

3 . МЕТОДИКА

Так как заранее было известно, что линии у большинства подобранных нами галактик слабы, то пришлось ограничиться исследованием только красной области спектра, где контраст между линиями и непрерывным спектром больше. Для того, чтобы получить некоторое оптимальное спектральное разрешение, дающее возможность разделять дублет [S II] $\lambda\lambda$ 6717, 6731 и бленду [N II] $\lambda\lambda$ 6548, 6584 и H_{α} , была выбрана дисперсия 110 А / мм, или 225 А / мм, соответствующая разрешению 5 – 10 А при разрешении фотоэмульсии с ЭОП около 20 пар линий / мм. Поскольку диаметр выходного окна ЭОП около 10 мм, то при дисперсии 100 А / мм охватывается спектральный диапазон около 1000 А. В этот интервал длин волн, центрированный на линию H_{α} , попадают важные запрещенные линии кислорода [O I] $\lambda\lambda$ 6300, 6363, азота [N II] $\lambda\lambda$ 6548, 6584, серы [S II] $\lambda\lambda$ 6717, 6731, а в принципе и линии λ 6618 He I и λ 6312 [S III], нами не обнаруженные. Восемь объектов снимались и в области линии H_{α} , но из-за слабости линий и небольшого разрешения эмиссия не выявлена.

Применяемая нами методика – относительная фотографическая спектрофотометрия. Калибровка фотоматериалов проводилась при помощи лабораторного спектрографа ИСП – 5Г и девятиступенчатого

нейтрального платинового ослабителя. На пластинках Кодак IO3 ад проходились специальные исследования зависимости характеристической кривой от длины волн, но такая зависимость в диапазоне длин волн 4500-6000 Å найдена не была.

Известно, что нелинейная зависимость почернения эмульсии от интенсивности падающего света затрудняет использование полученных результатов для прямых количественных расчетов. Разработано немало приборов, с помощью которых можно повысить точность и достоверность фотоэлектрической обработки негативов. В Крымской Астрофизической обсерватории Букачем и др. (1977) разработан микрофотометр в шкале интенсивностей с шаговым двигателем на базе быстродействующего фотометра Г - III, производства ГДР. Задаваясь характеристической кривой по 22 точкам, при помощи высокоомного реохорда, жестко связанного с пером самописца КСП - 4, на бумажной ленте получается запись в интенсивностях. Для обеспечения точной привязки результатов измерения к длине волны и для передвижения предметного стола микрофотометра применен шаговый двигатель типа ШД-4 с шагом $H = 1,5^\circ$. Для Цейсовского фотометра Г - III с его шагом микрометрического винта столика $h = 4$ мм это соответствует перемещению стола на величину $\Delta \tau = 0,016$ мм / шаг / $\Delta \tau = H \cdot h : 360^\circ$. Скорость движения каретки V_K можно менять в границах от 0,066 мм / сек до 0,8 мм / сек, а скорость бумажной ленты V_L - от 0,3 до 42 мм / сек. Таким способом, подбирая V_K и V_L можно получить желаемое увеличение при записи (масштаб регистрограммы). Нами применялись увеличения в основном 50 и 100 раз, в нескольких случаях для более интересных деталей спектра - 200 раз.

4. НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Всего было обработано 113 спектров 100 галактик. Из них 42

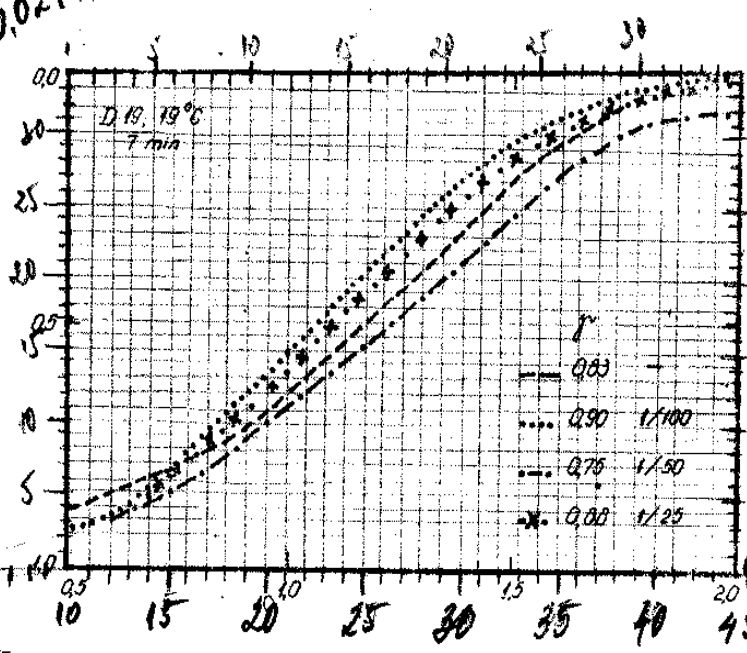
спектра получены автором при помощи описанной уже аппаратуры. На спектрографе УАГС получены спектры галактик *NGC* 2685, 2903, 3998, 4258, 4486 и Mrk 185. Применялась пленка А. 600 с предварительной подсветкой. Обратная линейная дисперсия во всех случаях была 101 А / мм. Все остальные спектры получены на А - спектрографе с контактным ЭОП при обратной линейной дисперсии 110 А / мм на эмульсиях типа Кодак 103 а0 или 103 аД в зависимости от того, каким люминофором был покрыт экран ЭОП. Во всех случаях щель спектрографа располагалась по прямому восхождению. Ширина щели бралась равной 0,3 - 0,35 мм, что соответствует 3 - 3,5". Спектры 38 галактик Маркаряна были получены Аракелян, Дибаяем и Есиновым, а 33 спектра галактик высокой поверхностной яркости - Дорошенко и Теребижем. Все эти спектры получены на А - спектрографе с контактным ЭОП при обратной линейной дисперсии 230 А / мм. Ширина щели была 0,3 - 0,35 мм и щель располагалась по прямому восхождению. Методика и аппаратура были описаны ранее Аракелян, Дибаяем и Есиновым (1970) и Дорошенко и Теребижем (1975).

Из всех обработанных нами спектров информативными с точки зрения определения физических условий оказались около 50 спектров. В остальных случаях линии недостаточно сильны или блещутся друг с другом или с линиями ночного неба. Для определения относительных интенсивностей линий производилась привязка к звездам с известным распределением энергии в спектре.

На рисунке 7 представлена спектральная чувствительность аппаратуры - 125 см телескоп ЭТЗ + А - спектрограф + ЭОП. В таблице 3 собраны некоторые исходные наблюдательные данные для исследованных нами объектов. 1 - № по *NGC*, 2 - другое обозначение, 3 - 4 - прямое восхождение и склонение галактик на эпоху 1950,

№	lg J	lg S'
1	0.5	0.0735
2	0.5439	0.0853
3	0.5905	0.0944
4	0.6363	0.1206
5	0.6818	0.1529
6	0.7272	0.1971
7	0.7727	0.2353
8	0.8181	0.2880
9	0.8636	0.3235
10	0.9090	0.3529
11	0.9545	0.3829
12	0.9999	0.4117
13	1.0455	0.4765
14	1.0909	0.5152
15	1.063	0.5528
16	1.1818	0.6088
17	1.2222	0.6413
18	1.2727	0.6767
19	1.3181	0.7265
20	1.3636	0.7647
21	1.4090	0.8
22	1.4545	0.8238
23	1.5	0.8529
24	1.5455	0.8824
25	1.5909	0.9059
26	1.6364	0.9265
27	1.6818	0.9412
28	1.7273	0.9559
29	1.7727	0.9706
30	1.8181	0.9765
31	1.8636	0.9824
32	1.9090	0.9882
33	1.9545	0.9941
34	2.0	1.0
35		

$ld=0,0297/1764$



$$S' = \frac{D}{D_{max}}$$

$$S = \frac{S'}{d\lambda}$$

Катализатор
модуль
увеличения
Рост

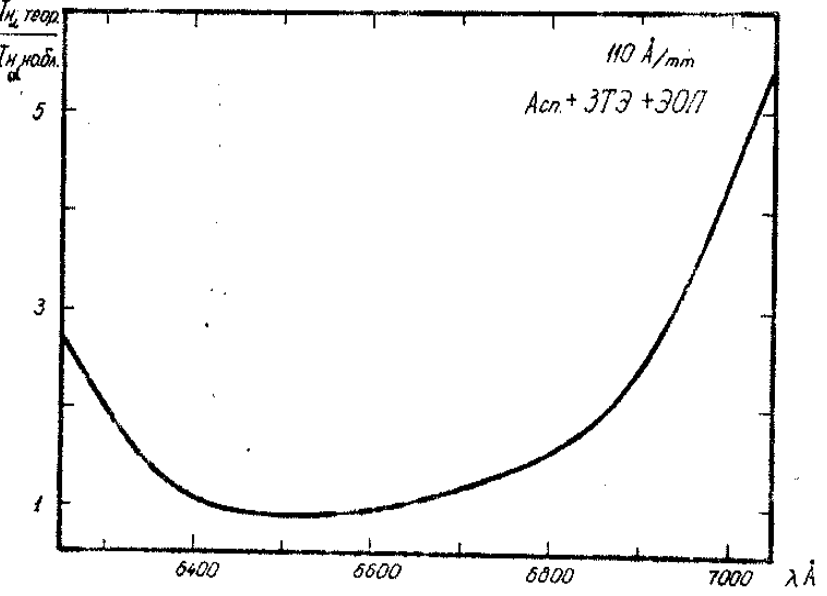


Рис. 7

Рис. 6 - Наименьшее коэффициент контрастности для пленки при $\lambda = 600$ при освещении путем предварительной подложки толщиной в 1/25, 1/50 и 1/100 сол.

Рис. 7 - Спектральная чувствительность аппаратуры.

$\lambda 600: J_{max} \sim 2.5 \Rightarrow$ в таблице ниже да се
мощности $S'' = 1.5 + S'$

Таблица 3

Объект	Другое оз- начение	Координаты			Тип	mp	SZ [км/с]	Размеры [угл. мин.]	В
		α 1950	δ 1950	b					
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mrk 334		00 00,6	21 42	-39,5	pec	14,4	7119	1,0 x 0,7	23,3
Mrk 341	IC 1559	00 34,2	23 43a	-38,8	Sb	13,3	5692	0,7 x 0,4	24,0
Mrk 353	NGC 354	01 00,6	22 05	-40,4	SB	14,2	4983		
Mrk 356		01 20,0	26 36	-35,5		16?	9000		
Mrk 369		02 34,7	20 56	-35,3		16?	3900		
Mrk 370		02 37,6	19 05	-36,6	pec?	13,5	999	1,5 x 1,1	23,3
Mrk 373		06 50,7	50 25	21,0		15,1	6000		
AKN 147	NGC 2469	07 54,0	56 49	31,4	E 0,5?	13,2	3300	0,95x0,65	21,9
Mrk 86	NGC 2537	08 09,7	46 09	33,0	S.O?	11,7	424	6,7 x 4,5	24,6
Mrk 97		08 46,7	65 51	36,8			7200		
Mrk 109		09 19,1	47 27	44,8		15,7	9000	0,4	
NGC 2903		09 29,4	21 44	44,5	Sb/Sc	9,8	438	12,2x11,8	24,4
AKN 211		09 40,6	42 42	50,8		15,3		0,2 x 0,2	21,1
AKN 215		09 43,9	42 45	52	Sab	15,4	5400	0,3 x 0,3	22,0

Таблица 3 - продолжение

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
АКН 229		10 01,7	13 52	48,8	Sb	13,6	2577	0,8 x 1,0	21,4
АКН 257	NGC 3395	10 47,0	33 14	63,1	Sc	12,1	1592	1,5 x 0,8	21,8
АКН 258	IC 651	10 48,5	-01 52	48,8	Pec	12,9	4200	0,8 x 0,8	21,4
NGC 3504		11 00,4	28 15	66,0	Sa SBb	11,6	1489	2,4 x 2,4	22,8
АКН 283		11 10,8	47 51	62	S	13,6	5400	0,7 x 0,5	21,8
АКН 286		11 15,6	19 07	70	Pec	13,6	1050	0,6 x 0,6	21,8
NGC 3656		11 20,8	54 07	58,8	Pec, E ?	13,4			
МПК 1716	NGC 3690	11 25,7	58 50	55	ном.	11,8	3060	2,2 x 1,8	22,6
МПК 171a	IC 694	11 25,7	58 50	55			3060		
АКН 296	NGC 3690	11 26,2	35 41	73		13,5	2250	0,5 x 0,4	21,1
АКН 312		11 39,7	00 37	62	Pec	13,7	5400	0,4 x 0,25	20,6
МПК 186	NGC 3870	11 43,3	50 30	63,8	SO ?	13,2	690	1,0 x 0,8	22,3
МПК 190	NGC 3928	11 49,1	48 57	65,5	EO	13,1	1020	1,0 x 1,0	22,4
АКН 337	NGC 3994	11 55,0	32 33	77,2	S	13,7	3000	0,7 x 0,4	21,8
МПК 198		12 06,6	47 20	68,4		15,2	7500	0,6 x 0,6	23,4
МПК 203		12 15,7	44 27	71,7	SO ?	13,4	7557	0,63x 0,4	21,4
NGC 4259		12 16,5	47 35	68,8	Sb	8,9	580	12,0 x 4,0	22,8
NGC 4618		12 39,1	41 26	75,0	SBm	11,5	617	4,0 x 3,5	23,7
NGC 4611		12 39,7	32 49	86,2	Sc, E _g	5,8	632	14,0 x 2,0	24,1

Таблица 3 - продолжение

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Мрк 223		12 45,5	71 36	45,8		15,3	1200		
Мрк 237		12 59,1	30 19	85			9300		
Мрк 248		13 13,0	44 40	70		14,9	10887	0,3 x 0,25	
NGC 5194		13 27,8	47 27	68,6	Sc	8,8	580	9,0 x 8,0	22,8
Мрк 262		13 29,5	75 53	41,3			9000		
Мрк 281	NGC 5383	13 55,0	42 05	70,1	SBB	12,7	2201	2,5 x 2,1	23,9
Мрк 286	NGC 5607	14 18,7	71 50	43,1	Pec	13,9	7998	0,85x0,65	22,5
NGC 5665		14 30,0	08 18	59,4	Sc	12,6	2247	2,0 x 1,2	23,0
NGC 5929		15 524,3	41 51	55,3	E-SO	13,0	2594	0,7 x 0,7	22,6?
Мрк 289		15 31,7	58 04	48		15,5	12000		
Акн 533	NGC 6488	17 48,9	62 14	30		14,6		0,5 x 0,4	22,0
NGC 6503		17 49,9	70 10	39,4	Sc	10,9	266	8,4 x 6,7	24,5
Мрк 308		22 39,5	20 00	-33,2		14,7	7200	0,45x 0,3	21,8
Мрк 318	NGC 7580	23 15,1	13 44	-43,0	S?	14,8	5019	0,7 x 0,6	22,1
Мрк 326	NGC 7677	23 25,6	23 15	-35,4	SBB?	13,9	4141	1,6 x 0,9	23,6
III 125		23 59,2	23 14	-38,0		13,9	4537		

Примечание: Красные смещения галактик, отмеченных звездочкой, брались из каталога Гислера, (1975), препринт, а для всех остальных галактик - из оригинальных публикаций: тип галактик - согласно Нильсон (1973).

5 - галактическая широта, 6 - морфологический тип галактики, 7 - фотографическая величина согласно Каталогу галактики и скоплений галактики Цвикки и др. (1961, 1963, 1965, 1966 а, б, 1968), 8 - красное смещение, 9 - размеры галактик согласно Морфологическому каталогу галактик Воронцова - Вельяминова и др. (1962, 1963, 1964, 1968), 10 - поверхностная яркость галактик в звездных величинах с квадратной секунды.

Таблица 4 представляет дневник наблюдений. В столбцах приведены соответственно дата, № спектра, объект, время экспозиции, спектральный диапазон, дисперсия, спектрограф.

5. ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ ЭМИССИОННЫХ ЛИНИЙ И ИХ ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ИНТЕНСИВНОСТИ В ЯДРАХ ГАЛАКТИК НЕСЕЙФЕРТОВСКОГО ТИПА

Эквивалентные ширины линий H_{α} , $[N II] \lambda\lambda 6548, 6584$, $[S II] \lambda\lambda 6717, 6731$ и в двух случаях $[O I] \lambda\lambda 6300, 6364$ определены для 10 галактик несейфертовского типа, не являющимися галактиками Маркаряна и не входящих в список Аракеяна (1975) (в дальнейшем мы будем называть их для краткости яркими галактиками). Для галактики *NGC 2903* эквивалентная ширина линий H_{α} , приведенная в таблице 5, сильно преувеличена, поскольку спектр галактики недоержан. Аллоин (1973) приводит для этой галактики значение $W_{H_{\alpha}} = 35 \text{ \AA}$. Поскольку шумы ЭОП и фотоэмульсии довольно сильны, точность определения эквивалентных ширин для сильных линий около 20 %, а для слабых линий доходит до 50 %. В последовательных столбцах таблицы 5 приведены: 1 - объект, 2 - $W_{H_{\alpha}}$, 3 - $W_{\lambda 6548}$, 4 - $W_{\lambda 6584}$, 5 - $W_{\lambda 6717}$, 6 - $W_{\lambda 6731}$. В 7-ом и 8-ом столбцах приведены эквивалентные ширины линий $[O I] \lambda\lambda 6300, 6364$ для двух галактик, для

Таблица 4

Дата	Сп. №	Объект	t экс.	Обл.	Диспер.	Спектрограф
I	2	3	4	5	6	7
II-12.IV, 1978	4084	NGC 2685	30	H ₂	101	УАГС + ЭОИ
" " "	4086	4151	25	"	"	"
13-14.IV, 1978	4093	2903	90	"	"	"
" " "	4094	NGC 3998	30	"	"	"
5-6. V, 1978	4098	Мрк 185	90	"	"	"
" " "	4099	NGC 4486	40	"	"	"
6-7. V, 1978	4104	HD 109995	10	"	"	"
7-8. V, 1978	4107	NGC 4258	60	"	"	"
8-9. V, 1978	4109	4278	30	"	110	A - сп. + ЭОИ
" " "	4110	5195	10	"	"	" "
" " "	4111	5194	8	"	"	" "
" " "	4112	5929	30	"	"	" "
9-10. V, 1978	4113	3489	10	"	"	" "
" " "	4114	3489	7	"	"	" "
" " "	4115	3504	5	"	"	" "
" " "	4116	4258	5	"	"	" "
" " "	4117	5353	10	"	"	" "
" " "	4119	5383	15	"	"	" "
" " "	4120	5866	12	"	"	" "
" " "	4121	6503	15	"	"	" "
" " "	4122	6503	25	H ₂	"	" "
10-11. V, 1978	4125	4618	20	H ₂	"	" "
" " "	4126	NGC 4631	30	"	"	" "
14-15. V, 1978	4129	B+33 ⁰ - 2642	3	"	"	" "
" " "	4131	NGC 5792	15	"	"	" "
" " "	4132	NGC 5444	15	"	"	" "

Таблица 4 - продолжение

I	2	3	4	5	6	7
14-15. V. I. 1978	4I33	NGC 5445	15	H _γ	110	A-сп. + ЭОП
15-16. V. I. 1978	4I34	3928	15	"	"	" "
" " "	4I35	3998	5	"	"	" "
" " "	4I36	4374	5	"	"	" "
" " "	4I37	4710	15	"	"	" "
7 - 8. VI. I. 1978	4I40	5930	15	"	"	" "
" " "	4I41	5929	22	"	"	" "
8-9. VI. I. 1978	4I42	3187	20	"	"	" "
" " "	4I43	3656	25	"	"	" "
" " "	4I44	3690	10	"	"	" "
" " "	4I45	3870	12	"	"	" "
" " "	4I46	NGC 5665	25	"	"	" "
" " "	4I50	I800+I5	5	"	"	" "
10-11. VI. I. 1978	4I61	NGC 4486	7	"	230	" "
" " "	4I62	4651	15	"	"	" "
" " "	4I65	NGC 5194	5	H _β	"	" "
" " "	4I66	I800+I5	1	"	"	" "
11-12. VI. I. 1978	4I67	AKN 296	20	"	"	" "
" " "	4I68	AKN 337	35	"	"	" "
" " "	4I69	NGC 4258	5	"	"	" "
" " "	4I70	NGC 4278	10	"	"	" "

которых эти линии наблюдались.

Для определения эквивалентных ширин эмиссионных линий галактик высокой поверхностной яркости из списка Аракеляна (1975) было обработано 33 спектра, полученных Дорошенко и Теребижем, для которых наличие эмиссионных линий ими было отмечено. Кроме этого, было просмотрено и записано около 30 спектров, в которых подозревалось наличие эмиссионных линий. Эти последние спектры в таблицы не включены, поскольку линии или очень слабы или из-за красного смещения блендируются с эмиссионными полосами ночного неба. Для галактик Аки 296 и Аки 337 автором получены два спектра в области $H\beta$ для выявления линии $[O III] \lambda 4363$, но эта линия нами не была обнаружена. В двух случаях — для галактик Аки 211 и Аки 257 дублет серы $[S II] \lambda\lambda 6717, 6731$ не разделяется и поэтому определена только суммарная эквивалентная ширина. Линии $[O I]$ не обнаружены. Полученные спектральные данные о галактиках высокой поверхностной яркости приведены в таблице 6, аналогичной таблице 5.

В таблице 7, аналогичной двум предыдущим таблицам, приведены эквивалентные ширины эмиссионных линий для 27 галактик Маркаряна. Эквивалентную ширину линии $[N II] \lambda 6548$ в большинстве случаев не удается определить, поскольку она блендируется с линией $H\alpha$. Во всех этих случаях в таблице есть знак " + " — присутствует, а эквивалентная ширина линии $H\alpha$ коррегирована, исходя из того, что $W \lambda 6584 = 3 W \lambda 6548$. Кроме галактик Маркаряна в таблицу включен и объект III Zw 125, для которого приведены эквивалентные ширины линии $H\alpha$ и $[N II] \lambda\lambda 6548, 6584$. Линии ионизованной серы не обнаружены.

Таблица 5

Эквивалентные ширины эмиссионных линий в ядрах
10 ярких галактик

Объект	$W_{H\alpha}$	$W_{\lambda 6548}$	$W_{\lambda 6584}$	$W_{\lambda 6717}$	$W_{\lambda 6731}$	$W_{\lambda 6300}$	$W_{\lambda 6364}$
<i>NGC</i> 2903	210:		100:				
3504	39	9,5	32	5,5	7,0		
3656	6,5	2,0	5,5				
4258	5,0	2,5	5,0	6,0	4,0		
4618	36	10	13		8,5	16	5,5
4631	56	12	29	12	12		
5194	9,5	7,5	19	3,5	3,0		
5665	46	9,5	28	20	19		
5929	17		18	8,5	7,5	17	2,5
<i>NGC</i> 6503	16	3,0	5,0	2,5	2,0		

Примечание: Поскольку спектр галактики *NGC* 2903 сильно недоохранен, значения эквивалентных ширин линий возможно преувеличены несколько раз, Аллоин (1973) приводит для $W_{H\alpha}$ значение 35 А.

Таблица 6

Эквивалентные ширины эмиссионных линий в ядрах 12 галактик высокой поверхностной яркости

Объект	$W_{H\alpha}$	$W_{\lambda 6548}$	$W_{\lambda 6584}$	$W_{\lambda 6717}$	$W_{\lambda 6731}$
АКН 147	25	+	20	19	5,0
211	17	4,0	10		25
215	37		11		
229	13		7,5		
257	30				10
258	52	+	16	6,5	13
283	12	1,5	4,5	3,0	2,5
286				16	15
296				3,0	3,0
312				9,5	8,5
337	27	3,0	15	19	12
АКН 533	39	+	34	9,0	12

Таблица 7

Эквивалентные ширины эмиссионных линий в галактиках

Маркаряна

Объект	$W_{H\alpha}$	$W_{\lambda 6548}$	$W_{\lambda 6584}$	$W_{\lambda 6717}$	$W_{\lambda 6731}$
Мрк 86	48	+	18	6,5	5,5
97	21	+	15		
109	72	+	23	35	41
171a	56	9,5	39	43	52
171б	92	20	93	45	40
186	34	4,5	7	7,0	7,0
190	34	14	17	6,5	9,5
198	38	+	19		
203	58		30		
223	60		23		I7
237	69	+	18	8,5	6,5
248	27	+	28	13	6,0
262	45	+	11	5,5	4,5
281	33	3,5	12	9,5	4,0
286	50	+	33	5,0	5,0
289	II6:	+	52:	31:	34:
308	I36:	+	59:		
318	39	+	25	12	14
326	30	+	30	3,5	2,5
334	58	+	33		10
341	66	+	12	42	26
353	48	+	28	5,0	8,0
356	преэксп.			33	19
369	42	+	20	12	12
370	55	+	13	9,5	10
373	43	+	26	6,5	12
Мрк 408	89	+	10	18	17
III Zw I25	8	2,5	7		

На рисунках 8 - 10 для иллюстрации приведены регистрограммы спектров ярких галактик *NGC* 5383, 5665 и 5929. В нижней части регистрограмм записан спектр ночного неба. Спектр сравнения - неон.

6. ОТНОШЕНИЕ $[N II] \lambda 6584 / H_{\alpha}$ В ЯДРАХ ГАЛАКТИК

Поскольку для определения лучевых скоростей галактик до сравнительно недавнего времени снималась синяя область спектра, то индикатором наличия или отсутствия ионизованного газа служил лишь дублет ионизованного кислорода $[O II] \lambda 3727$. Первый, кто наблюдал этот дублет в эллиптической галактике был Мэйолл (1936), обнаруживший его в галактике *NGC* 1052. Из работ Мэйолла (1939, 1958) известно, что дублет $[O II] \lambda 3727$ может с различной частотой наблюдаться в галактиках, представляющих все морфологические типы классификации Хаббла. Частота встречаемости этой линии, согласно цитированным работам, а также Хьюмасону, Мэйоллу и Сэндицку (1956) минимальна (~15 %) в эллиптических галактиках и быстро растет с переходом к более поздним морфологическим типам.

В дальнейшем изучением межзвездной материи в эллиптических галактиках занимались Минковский и Остерброк (1959) и Остерброк (1960). Известно, что линия $[O II] \lambda 3727$ может наблюдаться только в облаках ионизованного газа низкой плотности. Определяя электронную плотность в галактике *NGC* 1052, они показали, что плотность в этих облаках меньше, чем в планетарных туманностях и следовательно источник эмиссии может рассматриваться как межзвездная материя. Указанные авторы подробно изучили эмиссионный спектр галактики *NGC* 4278 и показали, что в ней линия $[O II] \lambda 3727$ возникает в области с диаметром около 170 пс - т.е. большим, чем для стандартной области $H II$. Относительные интенсивности эмиссионных линий в среднем таковы, как в планетарных туман-

ностях низкого возбуждения или в диффузных туманностях. Остерброк определил содержание ионов для этой галактики при двух принятых значениях температуры - 10 и 20 тысяч градусов.

В 1952 году Пейдж, исследуя двойные галактики, показал, что если в галактике наблюдается линия $[O II] \lambda 3727$, то наблюдается и линия H_{α} , причем чаще она сильнее $\lambda 3727$. Пейдж первый продемонстрировал, что красная область спектра со всех точек зрения более информативна.

Бэрбидж и Бэрбидж (1962, 1965) впервые получили достаточный наблюдательный материал в красной области спектра для суждения о распределении газа в галактиках разных морфологических типов. Им рассматривалось отношение $[N II] \lambda 6584/H_{\alpha}$ примерно в 85 галактиках для подавляющего большинства которых Хьюмасоном, Мэйолом и Сандиджем уже эмиссия наблюдалась.

Основной результат указанных авторов состоит в установлении факта изменения отношения $[N II] \lambda 6584/H_{\alpha}$ от 0,2-0,3 в спиральных рукавах до 1 и больше /вплоть до полного исчезновения H_{α} в ядрах галактик. При этом указанное отношение равно или больше 1 для всех эллиптических галактик, для 81 % линзовидных галактик и для 55 % спиральных галактик. Для всех неправильных галактик это отношение равно или меньше 0,3.

Так как это отношение содержит информацию о звездном населении /возбуждение газа/, температуре, радиации и относительном содержании ионов, то необходимость его дальнейшего изучения очевидна.

Сопоставление результатов Бэрбидж и Бэрбиджа с результатами исследования диффузных туманностей в Галактике показывает важное отличие в возможных состояниях газа в ядрах галактик

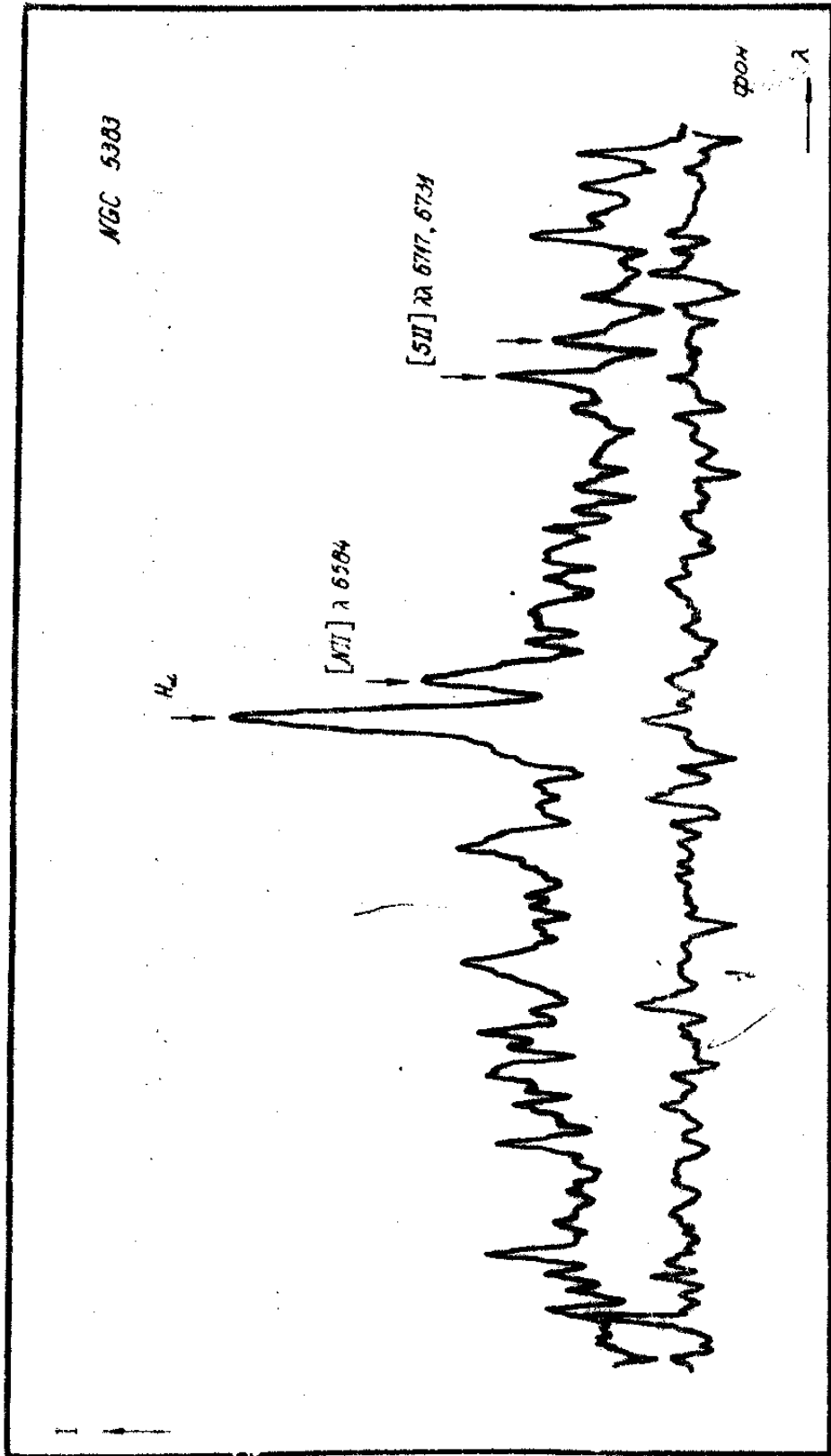


Рис. 5 - Видимая спектральная линия H α галактики NGC 5363, оригинальная дисперсия около 1.0 Å / мм, выдержка СФД 100 см, λ - спектральный смещение в Å.

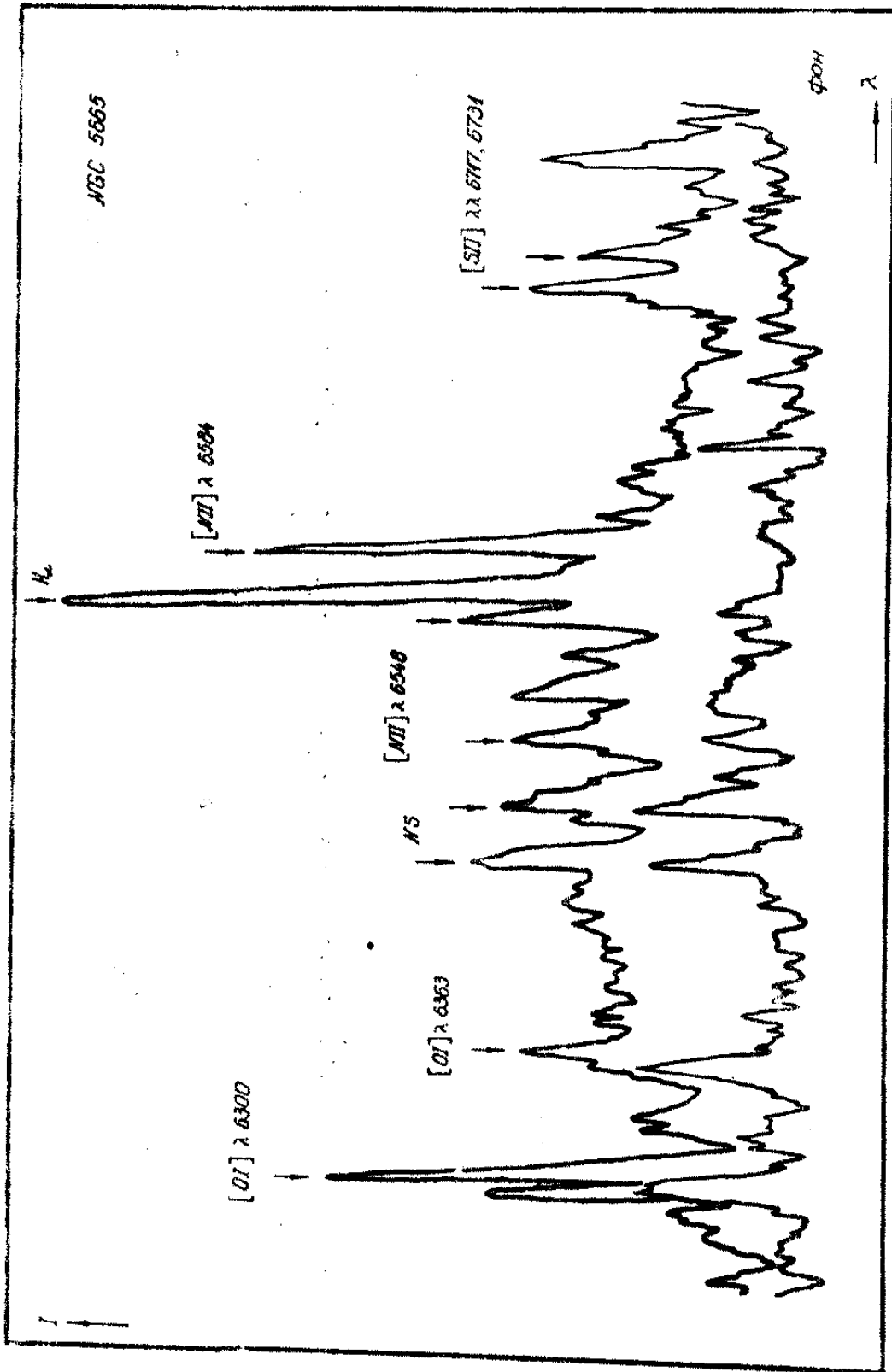


Рис. 9 - Запись спектра галактики NGC 5665, оригиналь-
ная дисперсия около $110 \text{ \AA} / \text{мм}$, телескоп СТД 125 см, А -
спектрограф с ЭОП.

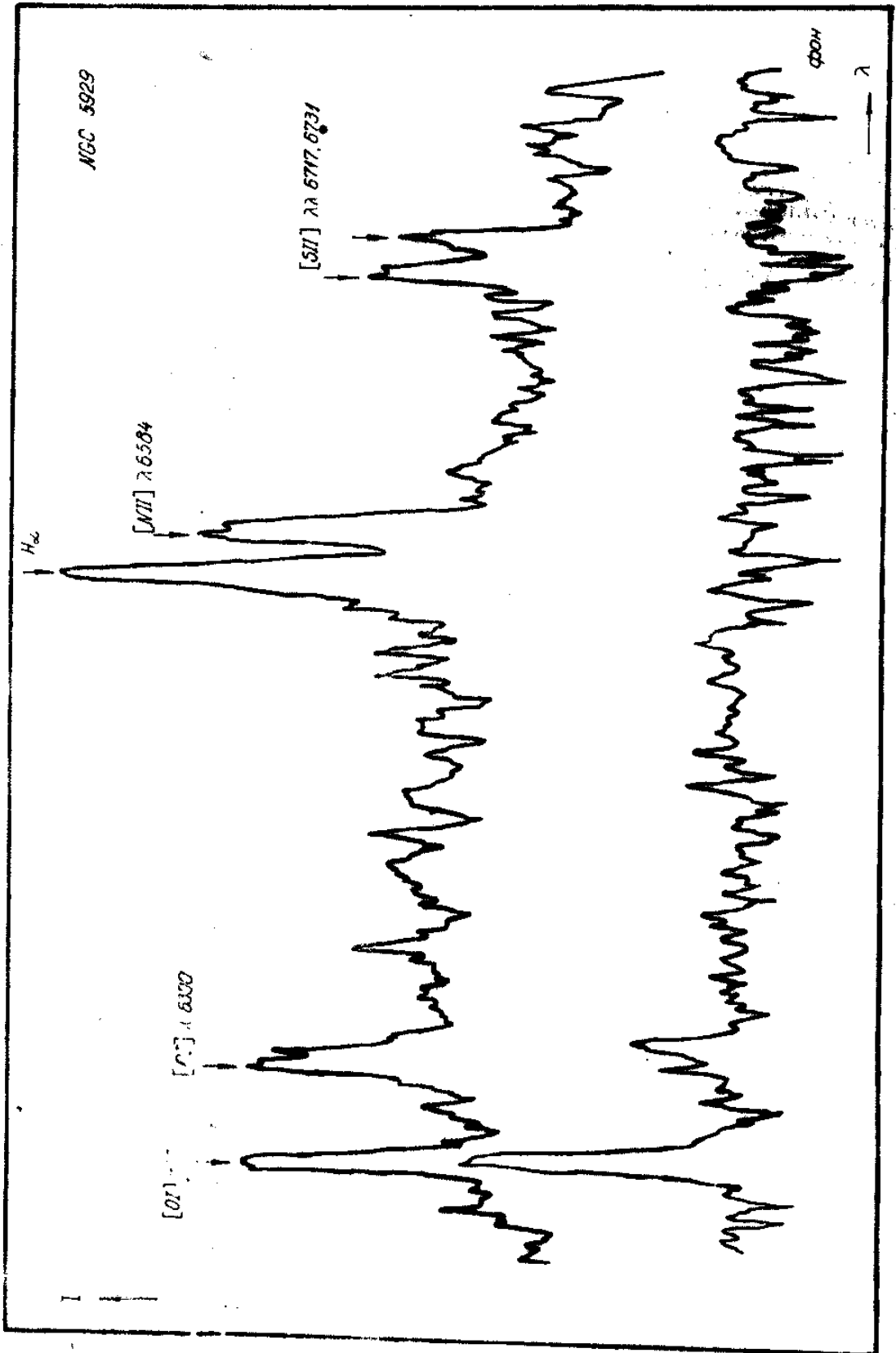


Рис. 19 - Спектр звезды NGC 5929, ориентированный перпендикулярно плоскости диска 110° А / см, телескоп 100 см, А - спектральный в ЭМ.

и диффузных туманностях. Это отличие не было отмечено указанными авторами, но непосредственно следует из сравнения их результатов с результатами исследования диффузных туманностей. Для иллюстрации приведем краткую статистику частоты встречаемости линии H_{α} и $[N II] \lambda 6584$ в галактиках разных морфологических типов, основанную на данных Бэрбицж и Бэрбиджа.

Эмиссия наблюдалась в II эллиптических галактик. Только в двух из них видна линия H_{α} . Среди 16 50 галактик с эмиссией, H_{α} видна только в 4. Линия H_{α} наблюдалась также в 5 из 7 Sa галактик с эмиссией и в 15 из 19 Sb галактик. Для всех Sc галактик и неправильных галактик наблюдалась и H_{α} , и $[N II] \lambda 6584$. Сопоставляя эти данные с данными Мэйолла (1958), видим, что для большинства эллиптических и линзовидных галактик отношение $[N II] \lambda 6584 / H_{\alpha} \geq 1$, а часто H_{α} просто не обнаружена.

Обратимся теперь к результатам исследования диффузных туманностей.

а/ Джонсон, (1953), изучая области H II в Галактике, отмечает, что после H_{α} , чаще всего видна линия $[N II] \lambda 6584$. Их отношение меняется от 1,1 до 7,7 и в среднем равно 3,2. (т.е. $[N II] / H_{\alpha} \sim 0,3$)

б/ Куртез (1960) при помощи интерферометра Фабри - Перо исследовал эмиссионные области Галактики и группировал их в пять классов на основе отношения $[N II] / H_{\alpha}$: $> 0,3$, $= 0,3$, $< 0,3$, $[N II]$ — слаб., $[N II]$ отсутствует. Иными словами, не отмечается ни одного случая, когда H_{α} не наблюдается. Между тем Бэрбицж и Бэрбидж отмечают ни одного случая, когда наблюдается линия H_{α} , а линия $[N II] \lambda 6584$ не видна. Изучением отношения $[N II] / H_{\alpha}$ в диффузных туманностях занимались и Куртез и другие (1969). Для полноты укажем на средние значения отношения $[N II] \lambda 6584 / H_{\alpha}$ для

диффузных туманностей. По 49 объектам Галактики получено значение 0,45 (Янкулова, Петров, Голев 1980), для 27 туманностей галактики М 33 – 0,29 и по 37 областей Н II ближайших галактик по данным Смитта (1975) получено 0,25. По 19 планетарным туманностям Галактики это отношение равно 0,07 и почти то же самое получено для 13 диффузных туманностей в Магеллановых облаках.

Указанное различие представляется нам принципиальным с той точки зрения, что оно может являться указанием на отличия в состояниях газа в ядрах галактик и диффузных туманностях. Оно явилось одним из факторов, побудивших приведенные в настоящей работе спектральные наблюдения галактик, не проявляющих каких-либо peculiarity.

Для объяснения изменений отношения $N_{\lambda} / [N II]$ от спиральных рукавов к ядрам галактик Бэрбидж и Бэрбидж (1962), а также Бэрбидж и др. (1963) подробно рассмотрели две возможности:

а/ отношение N^{+} / H^{+} более высокое в ядрах, чем во внешних областях галактик.

б/ в ядрах газ нагревается до температуры 10 – 20000 К за счет диссипации кинетической энергии звезд. В областях же Н II спиральных рукавов электронная температура оценивается в 6000 К.

Остерброк и Морган (1969) рассматривают изменения отношения $N_{\lambda} / [N II]$ как следствие изменений только степени ионизации азота – предположение, которое исключалось Бэрбиджем и др. (1963).

Поскольку для примерно 40% исследуемых нами объектов морфологические типы не определены, то прямое сравнение наших результатов с результатами Бэрбидж и Бэрбиджа невозможно. Однако замечается некая тенденция. Отношение $[N II] / N_{\lambda}$ для ярких галактик ~ 1 , при этом в 5 случаях из 10 оно равно или больше 1, что сог-

ласуется со статистикой Бэрбидж и Бэрбиджа. С переходом к более активным объектам, однако, положение меняется. Для галактик Маркаряна и галактик высокой поверхностной яркости среднее отношение $[N II] / N_{\alpha} = 0,55$. При этом лишь в небольшом числе объектов оно больше 1. В таблице 8 приведены средние отношения $[N II] / N_{\alpha}$ и их дисперсии для некоторых объектов.

Таблица 8

Отношение $[N II] / N_{\alpha}$ в диффузных туманностях и галактиках

Объекты	$\left\langle \frac{6584}{N_{\alpha}} \right\rangle$	σ	n
Яркие галактики	1,06	0,71	10
Галактики Маркаряна	0,55	0,26	28
Галактики высокой поверхностной яркости	0,55	0,26	8
Диффузные туманности в Галактике	0,45	0,39	49
Диффузные туманности в галактике М 33	0,29	0,10	27
Области N II в ближайших галактиках	0,25	0,20	37
Диффузные туманности в Магеллановых Облаках	0,05	0,02	13

Таким образом, результаты наших наблюдений галактик, не входящих в списки Маркаряна и Аракеляна, находятся в хорошем согласии с результатами Бэрбидж и Бэрбиджа. Галактики же Маркаряна и галактики высокой поверхностной яркости с точки зрения отношения $[N II] / N_{\alpha}$ ближе к диффузным туманностям.

Г Л А В А I I

ФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ЯДРАХ НОРМАЛЬНЫХ ГАЛАКТИК С ЭМИССИОННЫМИ ЛИНИЯМИ

§ I. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ТЕМПЕРАТУР И ЭЛЕКТРОННЫХ ПЛОТНОСТЕЙ.

Методы количественного анализа спектров планетарных и диффузных туманностей разработаны достаточно подробно. При некоторой модификации их можно с успехом применять для анализа протяженных оболочек звезд и расширяющихся оболочек новых звезд. Этими методами можно изучать и физические условия в областях H II нашей и других галактик, а также в ядрах галактик, показывающих эмиссионные линии. В любом конкретном случае необходимо выяснить состоятельность всех допущений, сделанных при получении рабочих формул из более общих соотношений.

Определение физических условий в эмиссионных объектах по существу сводится к двум отдельным задачам.

а/ разработка методов определения физических условий и в частности определения электронных температур и плотностей.

б/ получение наблюдательных данных, необходимых для определения физических условий и вытекающих из разработанных методов.

Некоторые физические параметры - например, электронная температура, могут быть определены детальным рассмотрением всех процессов, происходящих в эмиссионных объектах. Проник (1962) приводит обширный обзор методов определения электронных температур в газовых туманностях.

К 1918 году уже накопились немало спектров туманностей, но первые сведения об электронных температурах туманностей появились только в 1939 году, когда Амбарцумяном был разработан ставший

классическим методом определения электронной температуры по запрещенным линиям дублии ионизованного кислорода $\lambda\lambda$ 4363, 4959 и 5007. Первые оценки по методу Амбарцумяна дали среднее значение для электронной температуры туманностей $T_e \sim 7000$ К. / Оценки зависят от принятых значений эффективных сечений соударений и с их уточнением несколько изменились /. Беккер и др. (1938), решая уравнение лучистого равновесия при условии стационарности, получили связь между электронной температурой газа T_e и температурой центральной звезды T_{\star} за пределом серии Лаймана для чисто водородной туманности. При этом однако получались слишком высокие температуры T_e . Расхождение между двумя оценками электронной температуры было объяснено Мензелом и Аллером (1941) охлаждением туманности на ионах O^{++} , не учитываемым Беккером и др. Этот эффект понижает электронную температуру туманности с примерно 57000 К до 8000 К, если относительное содержание ионов кислорода O^{++} / H_i порядка 10^{-4} .

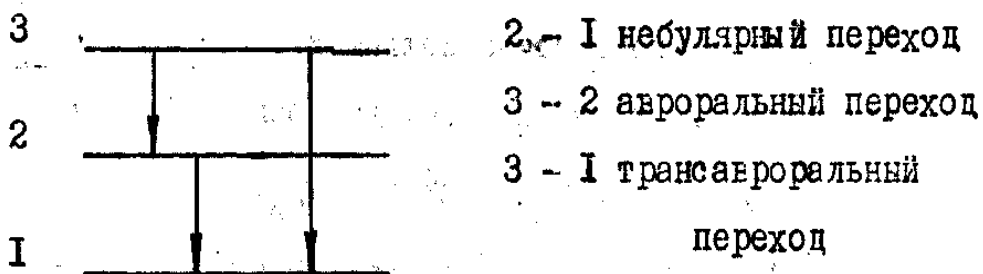
Соболев (1941) предложил метод определения электронных температур, идея которого состоит в том, что количество энергии, которое получают электроны при фотоионизации водорода, должно равняться полному количеству энергии, которое они теряют при взаимодействии с другими атомами и ионами, плюс энергия рекомбинирующих электронов. Он исходил из того, что электроны теряют энергию на излучение в непрерывном спектре, на возбуждение линий [O III] $\lambda\lambda$ 4959, 5007 и при неупругих столкновениях с атомами водорода. Найденная при помощи введенного им уравнения температура для ряда планетарных туманностей порядка $13 - 19 \times 10^3$ К.

Аллер (1953) представил энергию, излучаемую туманностью в запрещенных линиях в виде: $E = E_{H\beta} \sum I_i / I_{H\beta}$, где $E_{H\beta}$ энергия, из-

лучаемая в линии $H\beta$, $\sum I_i / I_{H\beta}$ - наблюдаемое отношение суммарной интенсивности всех запрещенных линий к интенсивности линий $H\beta$. Значения электронных температур, полученные этим методом, как правило существенно больше значений, определенных по запрещенным линиям дважды ионизованного кислорода.

Поскольку метод энергетического баланса нами не применялся, то подробно на нем останавливаться не будем.

Основной метод определения электронной температуры основывается на сравнении интенсивностей двух запрещенных линий с одним совпадающим уровнем одного и того же иона, возбуждаемых электронными ударами. При этом, чем больше разность в потенциалах возбуждений верхних уровней этих линий, тем меньше ошибка определения T_e , обусловленная неточностью наблюдений. Если для этих линий, помимо потенциалов возбуждения, существенно отличаются ещё и вероятности спонтанных переходов, их отношение будет зависеть и от электронной плотности n_e . Таким образом, для определения и электронной температуры и электронной плотности, необходимы два соотношения, связывающих небулярные линии с авроральными или трансавроральными с небулярными (Ситон, 1954).



Для иона O^{++}

$$\frac{I_{\text{неб}}}{I_{\text{авр}}} = \frac{\chi_{21} A_{21} n_2}{\chi_{32} A_{32} n_3}, \text{ где } n_2 \text{ и}$$

n_3 - населенности соответствующих уровней, A_{21} и A_{32} - вероятности переходов, χ_{21} и χ_{32} - потенциалы возбуждения. Соотношения этого типа существуют для линий [O III] $\lambda\lambda$ 4363, 4959, 5007, а

также и для линий $[N II] \lambda\lambda 5755, 6548, 6584, [Ne III] \lambda\lambda 3343, 369, 3968, [Ne V] \lambda\lambda 2972, 3346, 3426$ и других линий ионов $S^+, P^+, Ar^{+++}, O^0, N^0$ и других. Поскольку в общем случае отношение $I_{\lambda} / I_{\lambda'}$ не зависит и от электронной температуры и от электронной плотности, то на плоскости n_e, T_e должны существовать семейства кривых равных отношений.

В случае, когда потенциалы возбуждения верхних уровней двух линий равны или очень близки, а вероятности спонтанных переходов различны, отношение интенсивностей этих линий слабо зависит от электронной температуры. На этом основывается метод определения электронной плотности по отношению интенсивностей линий ультрафиолетового дублета однократно ионизованного кислорода $\lambda 3726 / I_{\lambda 3729} [O II]$, предложенный Ситоном и Остерброком, (1976).

Рабочие формулы для некоторых практически важных линий приведены в нижеследующей таблице, взятой из работы Калера и др. (1976). В ней $t = 10^{-4} T_e$ и $X = 10^{-2} n_e T_e^{-1/2}$.

Наиболее полезной из приведенных ниже формул является формула (5), связывающая запрещенные линии дважды ионизованного кислорода, поскольку линии достаточно сильны и свободны от блещ. Основная ошибка происходит из-за того, что обычно $X = 10^{-2} n_e T_e^{-1/2}$ неизвестно точно. Для $T_e = 10^4$ К и $n_e = 10^4$ см⁻³ $X = 1$ и с точностью 6 % выражением $0,063 X$ в знаменателе формулы (5) можно пренебречь по сравнению с единицей. Таким образом уравнение (5) превращается в уравнение для определения электронной температуры T_e . Однако, при $n_e \geq 10^5$ см⁻³ и разумных T_e $0,063 X$ в знаменателе формулы (5) не является пренебрежимо малым по сравнению с единицей. В этих случаях уравнение (5) является уравнением с

- [OI] $\frac{I_{\lambda 5577}}{I_{\lambda 6300} + I_{\lambda 6353}} = 0,113 \cdot t^{0,06 - 1,12t}; t = 10^{-4} \cdot T_e$ (1)
- [SII] $I_{\lambda 6717} / I_{\lambda 6731}$ — затабулировано Kueger et al, ω
1970, ApJ, 160, 921 и други
- [OII] $I_{\lambda 3726} / I_{\lambda 3729}$ — затабулировано Saraph & Seaton, ω
1970, MNRAS, 148, 367
- [NII] $\frac{I_{\lambda 6548} + I_{\lambda 6584}}{I_{\lambda 5755}} = \frac{5,92 \text{ dex } (10860 / T_e)}{1 + 0,31x}$ — Seaton, 1975, ω
MNRAS, 170, 475. (2)
- [SIII] $\frac{I_{\lambda 9531} + I_{\lambda 9069}}{I_{\lambda 6312}} = \frac{4,80 \text{ dex } (9300 / T_e)}{1 + 0,021x}$ (3)
- [CIII] $I_{\lambda 5537} / I_{\lambda 5517}$ — затабулировано Kueger et al,
1970, ApJ, 160, 921
- [ArIII] $\frac{I_{\lambda 7751} + I_{\lambda 7135}}{I_{\lambda 5192}} = \frac{11,88 \text{ dex } (12000 / T_e)}{1 + 0,0041x}$ (4)
- [OIII] $\frac{I_{\lambda 4959} + I_{\lambda 5007}}{I_{\lambda 4363}} = \frac{7,20 \text{ dex } (14300 / T_e)}{1 + 0,053x}$ — Seaton, 1975, ω
MNRAS, 170, 475. (5)
- [CIV] $\frac{I_{\lambda 8045} + I_{\lambda 7530}}{I_{\lambda 5323}} = \frac{8,75 \text{ dex } (11700 / T_e)}{1 + 0,005x}$ (6)
- [ArIV] $I_{\lambda 4740} / I_{\lambda 4711}$ — затабулировано Kueger et al,
1970, ApJ, 160, 921 и други
- [ArIV] $\frac{I_{\lambda 7237} + I_{\lambda 7170}}{I_{\lambda 4740}} = 37,2 \frac{\beta_s}{\beta_2} \text{ dex } (-8615 / T_e)$ (7)
- $\frac{\beta_s}{\beta_2}$ — затабулировано Czerwak et al,
1970, Proc. Nat. Acad. Sci, 66, 282
- [NeIII] $\frac{I_{\lambda 3868} + I_{\lambda 3968}}{I_{\lambda 3342}} = \frac{13,5 \text{ dex } (18700 / T_e)}{1 + 0,0027x}$ — Seaton, 1975, ω
MNRAS, 170, 475. (8)
- [NIV] $I_{\lambda 4163} / I_{\lambda 4122}$ — затабулировано Saraph & Seaton,
1970, MNRAS, 148, 367.
- [ArV] $\frac{I_{\lambda 7005} + I_{\lambda 6435}}{I_{\lambda 4625}} = \frac{15,7 \text{ dex } (13500 / T_e)}{1 + 0,0021x}$ (9)

двумя неизвестными и для решения необходимы некоторые дополнительные соображения.

Для газовых туманностей очень часто определяют X по отношению интенсивностей линий $[O II] I_{\lambda 3726} / I_{\lambda 3729}$ или $[S II] I_{\lambda 6717} / I_{\lambda 6731}$ и с полученным таким способом X из уравнения (5) определяют T_e . Поскольку в общем случае электронные плотности в газовых туманностях порядка $10^3 - 10^4 \text{ см}^{-3}$, то допускаемая при этом ошибка невелика. Тем не менее операция эта не совсем корректна, поскольку известно немало случаев, когда $n_e > 10^4 \text{ см}^{-3}$. Кроме того, как уже отмечалось, ионы O^{++} , O^+ и S^+ светятся в разных зонах, в которых физические условия могут сильно отличаться. Совместное решение уравнений (2) и (5) по этой причине не дает истинного значения электронной температуры и плотности, хотя оба уравнения зависят и от того и от другого параметра. Полученные таким путем результаты должны рассматриваться как некоторые средние параметры, характеризующие излучающий газ. В зависимости от потенциалов ионизации более естественно решать совместно уравнения (5) с (7) или с (8). Препятствием к этому является тот факт, что линии $[Ar IV]$ слабы, а линия $\lambda 3342 [Ne III]$ редко наблюдается, поскольку для этого требуется кварцевая оптика.

§ 2. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЭМИССИОННЫХ ОБЪЕКТОВ

В спектрах практически всех эмиссионных объектов присутствуют водородные линии излучения. В эмиссионных объектах, оптически тонких для излучения в линии H_{β} , отношение интенсивности I_i некоторой запрещенной линии к интенсивности линии H_{β} можно записать в виде

$$\frac{I_i}{I_{H_{\beta}}} = \frac{n_i r}{n_p} \theta_i (n_e, T_e) \quad (10)$$

где $I_i / I_{H\beta}$ - относительные интенсивности эмиссионных линий, полученные из наблюдений и исправленные за дифференциальное межзвездное покраснение света, n_{ir}/n_p - отношение плотностей соответствующих ионов в основном состоянии (поскольку есть сильная дилуция излучения, практически все атомы или ионы находятся в основном состоянии) к плотности протонов, $\vartheta_i(n_e, T_e)$ - некоторая функция электронной температуры и электронной плотности. Формулы для вычисления $\vartheta_i(n_e, T_e)$ приведены например Боярчуком и др. (1963), а графики с учетом уточнения некоторых атомных параметров - Боярчуком и др. (1969). Следует отметить, что при низких электронных плотностях зависимость функции ϑ_i от n_e становится пренебрежимо малой.

Как известно, отношения интенсивностей небулярных, авроральных и трансавроральных линий практически не зависят от степени ионизации соответствующего элемента - степенью ионизации обусловлена абсолютная светимость в этих линиях. Поэтому, не привлекая никаких дополнительных соображений о поле излучения, химическом составе и т.д., пользуясь формулами (I - 9) или их графическим представлением, возможно определить электронную температуру и плотность. Соотношения (I0), однако, более общие. Они связывают отношения интенсивностей эмиссионных линий, отношения плотностей соответствующих ионов и протонов и некоторую известную функцию электронной плотности и температуры. В принципе, если из каких-либо иных соображений известны химический состав излучающего газа и степень ионизации светящегося вещества, с помощью формулы (I0) возможно определить функцию $\vartheta_i(n_e, T_e)$ для нескольких линий и далее по приведенным графикам определить и значения электронной плотности и электронной температуры.

С другой стороны, зная значения n_e и T_e и относительные ин-

тенсивности запрещенных линий из наблюдений, по той же формуле возможно определить содержание данного элемента по отношению к водороду (в общем случае определяется содержание какого-либо иона). Для облегчения всех количественных расчетов, все графики, приведенные Боярчуком и др. (1969), построены в одном и том же масштабе.

Удобный метод для определения содержания ионов и химического состава эмиссионных объектов предложил Пеймберт (1968). Поскольку он применил свою схему к ядрам галактик M 51 и M 81, а наша задача - сравнительное исследование физических условий в ядрах пекулярных и нормальных галактик, то в дальнейшей работе мы следовали схеме Пеймберта. Для определения относительного содержания ионов Пеймберт использует следующие соотношения:

$$\frac{N(O^+)}{N(H^+)} = 7,2 \cdot 10^{-5} \frac{1+7,5x+6,8x^2}{1+5,6x} T_e^{-0,375} \frac{I_{\lambda 3727}}{I_{H\alpha}} e^{\frac{386 \cdot 10^4}{T_e}} \quad (11)$$

$$\frac{N(O^{++})}{N(H^+)} = 1,65 \cdot 10^{-4} (1+0,01x) \cdot T_e^{-0,375} \frac{I_{\lambda 5007}}{I_{H\alpha}} e^{\frac{289 \cdot 10^4}{T_e}} \quad (12)$$

$$\frac{N(N^+)}{N(H^+)} = 1,65 \cdot 10^{-4} (1+0,14x) \cdot T_e^{-0,375} \frac{I_{\lambda 6584}}{I_{H\alpha}} e^{\frac{220 \cdot 10^4}{T_e}} \quad (13)$$

Формула (11) верна для T_e порядка 10000 К и $X < 1$.

Далее Пеймберт предполагает, что кислород находится только в состоянии однократной или двукратной ионизации. В таком случае полное содержание кислорода по отношению к водороду будет определяться выражением

$$\frac{N(O)}{N(H)} = \frac{N(O^+) + N(O^{++})}{N(H^+)} \quad (14)$$

Это предположение, как отмечает Пеймберт, подтверждается тем фак-

том, что отношение $I_{\lambda 5007} / I_{\lambda 3727}$ обычно мало, что свидетельствует об относительной малости количества кислорода в третьей и более высоких состояниях ионизации. Наличие линии $[O I] \lambda 6300$ указывает на то, что есть некоторое количество нейтрального кислорода, но поскольку потенциалы ионизации N^0 и O^0 практически одинаковы, то можно ожидать, что такая же часть водорода находится в нейтральном состоянии. Подобным образом, чтобы определить полное количество азота, необходимо найти какой-то коррекционный множитель, учитывающий долю ненаблюдаемых ионов. На основании того факта, что потенциалы ионизации азота и кислорода практически совпадают, Пеймберт определяет

$$\frac{N(N)}{N(H)} = \frac{N(O^+) + N(O^{++})}{N(H^+)} \cdot \frac{N(N^+)}{N(H^+)} \quad (15)$$

Рассматривая отношения $I[N II] \lambda 6584 / I_{H\alpha}$ и $[S II] I_{\lambda 6724} / I_{H\alpha}$ для областей H II в галактике M 33 Бевенути и др. (1973) установили, что $N^+ \sim S^+$ и на основании этого предлагают формулу для определения относительного содержания ионизованной серы, использованная в дальнейшем и нами

$$\frac{N(S^+)}{N(N^+)} = (1 + 0,14x) \cdot 3,43 e^{\frac{5 \cdot 10^2}{T_e}} \frac{I_{\lambda 6724}}{I_{\lambda 6584}} f(x, T_e), \quad f(x, T_e) \approx 1 \quad (16)$$

Предположение, что $N^+ / S^+ \sim N / S$ оспаривалось несколькими авторами (см. напр. Хаули и Гранди, 1977) и по-видимому не отвечает действительности. Для определения полного содержания серы Пеймберт и др. (1975), исходя из разницы в потенциалах ионизации, предложили следующую формулу:

$$\frac{N(S)}{N(H)} = \frac{N(O^+) + N(O^{++})}{N(O^{++})} \cdot \frac{N(S^+) + N(S^{++})}{N(H^+)} \quad (17)$$

для применения которой необходимы наблюдения, охватывающие $[S III] \lambda \lambda 9069, 9532$, к сожалению, находящиеся в инфракрасной об-

ласти спектра. Обзоры рассматриваемой проблемой приводят Остерброк (1970) и Пеймберт (1975).

Для определения содержания ионов гелия Пеймберт и Спинрад (1970 б) предлагают следующие формулы, которыми пользовались и мы:

$$\frac{He^+}{H^+} = 9,8 \cdot 10^{-2} T_e^{0,22} \frac{I_{\lambda 5876}}{I_{H\beta}} = 6,3 \cdot 10^{-1} T_e^{0,13} \frac{I_{\lambda 4472}}{I_{H\beta}} = 6,5 \cdot 10^{-1} T_e^{0,13} \frac{I_{\lambda 5876}}{I_{H\alpha}} \quad (18)$$

$$\frac{He^{++}}{H^+} = 0,099 \frac{I_{\lambda 4686}}{I_{H\beta}} \quad \text{для } T_e = 10000 \text{ K}$$

Следует отметить, что неопределенность в значениях электронных температур в 1000 К приводит к погрешности в 1 - 2 % при определении содержания ионов He^+ (Спинрад и Пеймберт (1975)).

§ 3. ФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И СОДЕРЖАНИЕ ИОНОВ В ЯДРАХ

ГАЛАКТИК С ЭМИССИОННЫМИ ЛИНИЯМИ

Из содержания § I следует, что для определения электронных температур и плотностей необходимы наблюдательные данные из спектрального диапазона примерно от 3200 до 7000 Å. Кроме этого, необходимы спектры высокого спектрального разрешения и чистоты, чтобы выявить слабые эмиссионные линии, если они присутствуют в спектре. Для большинства исследованных нами объектов подобные данные получить не удалось. В лучшем случае мы располагали двумя спектрами - один "красный", центрированный на линию H_{α} и один "синий", центрированный на линию H_{β} . Даже в этих случаях линия [O III] $\lambda 4363$ не выявлялась. Поэтому возможности получить прямую оценку электронной температуры мы не имели. Однако дублет ионизованной серы [S II] $\lambda\lambda 6717, 6731$ почти во всех случаях был разрешен и это дало возможность определить величину $X = 10^2 n_e T_e^{-1/2}$ (Видман, 1968). При условии $T_e = 10^4$ К эта величина дает электронную плотность в зонах [O II] излучающего газа. Многими авторами было показано, что электронная температура областей H II порядка 10^4 К. За наименее:

лучшего с целью получения количественных оценок, нами были определены содержания некоторых ионов и электронной плотности в ядрах примерно 50 галактик несейфертовского типа, в двух предположениях о значении T_e - 7500 и 10000 К. Рабочие формулы для определения содержания ионов получены из формул (II-13 и 16) подстановкой в них принятых значений T_e .

В таблице 9 приведены относительные интенсивности эмиссионных линий величины $\lg X$ и логарифмы чисел ионов N^+ и S^+ для 10 ярких галактик, перечисленных в первом столбце, полученные в предположении, что количество водородных атомов равно 10^{12} . Содержание ионов определялось для двух значений электронной температуры - 7500 и 10000 К. В двух последних столбцах таблицы для сравнения приведены логарифмы чисел ионов S^+ для тех же электронных температур, определенные по графикам, приведенным Боярчуком и др. (1989).

Полученные различия в относительном химическом составе ядер различных галактик часто превышают различие *пар* значений, соответствующих двум принятым значениям электронной температуры у той же галактике. Это указывает на реальность различий результатов, относящихся к разным галактикам.

Следующей группой исследованных объектов являются 12 галактик высокой поверхностной яркости из списка подобных объектов, составленного Аракеляном (1975). Этот список содержит 620 галактик. Семь из них включены в списки Видмана (1977, 1978) как обладающие признаками, характерными для галактик сейфертовского типа. Аракелян (1977) показал, что среди этих объектов имеется избыток галактик с радиоизлучением на частоте 408 МГц. У некоторых галактик из списка Аракеляна заподозрено или обнаружено рентгеновское

излучение (Елвис и др. 1978) . Перечисленные факты иллюстрируют целесообразность более детального исследования галактик высокой поверхностной яркости с точки зрения определения физических условий в ядрах этих объектов.

По спектрам , любезно предоставленным В.Т.Дорошенко и В. Ю.Теребижем , нами определены некоторые физические параметры , дающие общую картину условий излучающего газа в ядрах этих галактик. Методика изложена в параграфах 1 и 2 настоящей главы.

Таблица 9

Физические условия и содержание ионов в ядрах
ярких галактик

Объект	$I_{\lambda 6584}$	$I_{\lambda 6724}$	$I_{\lambda 6717}$	$\lg X$	N^+		S^+		S^+	
	$I_{H\alpha}$	$I_{H\alpha}$	I_{6731}		7500 K	10000 K	7500 K	10000 K	7500 K	10000 K
<i>NGC</i> 2903	0,34				7,57	7,20				
3504	1,06	0,32	0,83	3,35	8,08	7,71	6,99	6,64	7,28	6,87
3656	1,12				8,09	7,72				
4258	1,54	0,75	2,21		8,22	7,86	7,35	6,99		
4618	0,63	0,10			7,83	7,47	6,47	6,12		
4636	0,70	0,50	0,83	3,35	7,90	7,53	7,18	6,83	7,48	7,34
5194	2,81	0,65	1,15	2,80	8,49	8,13	7,29	6,93	7,60	7,20
5665	0,80	0,48	1,22	2,55	7,94	7,58	7,16	6,80	7,46	7,08
5929	1,08	0,90	1,22	2,55	8,07	7,71	7,43	7,07	7,73	7,34
<i>NGC</i> 6503	0,48	0,18	1,21	2,65	7,72	7,36	6,73	6,37	7,04	6,63

Примечание: Теоретические границы отношения $I_{\lambda 6717} / I_{\lambda 6731}$ 0,43 - 1,42 , что соответствует значениям $\lg X$ от 6 до 1 соответственно.

Таблица 10

Физические условия и содержание ионов в ядрах галактик высокой
поверхностной яркости

Объект	<u>I6584</u>	<u>I6724</u>	<u>I6717</u>	$\log X$	N^+		S^+		S^+	
	$I_{H\alpha}$	$I_{H\alpha}$	<u>I6731</u>		7500 K	10000 K	7500 K	10000 K	7500 K	10000 K
АКН I47	1,00	0,75	2,81		8,04	7,67	7,35	6,99		
211	0,56	1,09			7,78	7,42	7,51	7,16		
215	0,29				7,50	7,13				
229	0,54				7,77	7,40				
257			1,02	3,05						
258	0,30	0,28	0,54	3,95	7,57	7,20	6,97	6,61	7,23	6,83
283	0,34	0,34	1,23	2,55	7,57	7,21	7,00	6,65	7,30	6,91
286		0,16	1,14	2,85					6,98	6,58
296			1,10	2,92						
312		0,17	1,20	2,70					7,00	6,61
337	0,54	0,30	1,70		7,77	7,40	6,95	6,59		
АКН 533	0,86	0,55	0,80	3,40	7,99	7,62	7,23	6,87	7,52	7,11

Таблица II

Физические условия и содержание ионов в ядрах галактик Маркаряна

Объект	<i>I</i> ₆₅₈₄	<i>I</i> ₆₇₂₄	<i>I</i> ₆₇₁₇	<i>lg X</i>	<i>N</i> ⁺		<i>S</i> ⁺		<i>S</i> ⁺	
	<i>I</i> _{Hα}	<i>I</i> _{Hα}	<i>I</i> ₆₇₃₁		7500 K	10000 K	7500 K	10000 K	7500 K	10000 K
Mrk 36	0,36	0,24	1,12	2,72	7,60	7,23	6,86	6,50	7,15	6,76
37	0,67				7,86	7,50				
109	0,30	0,68	0,88	3,28	7,53	7,16	7,32	6,96	7,61	7,20
171a	0,84	1,00	0,83	3,35	7,97	7,61	7,48	7,13	7,78	7,38
171c	1,11	0,64	1,22	2,65	8,09	7,72	7,28	6,92	7,60	7,20
186	0,35	0,42	1,08	2,95	7,59	7,22	7,10	6,75	7,40	7,00
190	0,53	0,37	0,76	3,45	7,78	7,41	7,06	6,70	7,34	6,95
193	0,50				7,74	7,37				
203	0,50				7,74	7,37				
223	0,35	0,20			7,58	7,22	6,77	6,42		
237	0,98	0,32	0,56	3,90	8,08	7,71	7,02	6,67	7,28	6,89
248	1,02	0,87	1,26	2,57	8,08	7,68	7,42	7,06	7,72	7,32
262	0,26	0,18	1,26	2,60	7,45	7,09	6,73	6,37	7,04	6,63
281	0,45	0,32	2,62		7,68	7,33	6,98	6,62		
286	0,64	0,16	1,01	3,08	7,85	7,48	6,68	6,33	6,96	6,58
289	0,43	0,33	1,10	2,92	7,68	7,31	7,00	6,64	7,30	6,90
308	0,43				7,67	7,30				
318	0,61	0,56	0,87	3,30	7,84	7,47	7,23	6,88	7,53	7,11
326	0,97	0,20	1,42	1,40	7,43	7,07	6,18	5,83	7,08	6,68
334	0,56	0,13			7,78	7,42	6,59	6,23		
341	0,19	0,83			7,32	6,95	7,39	7,03		
353	0,62	0,44	0,60	3,75	7,86	7,50	7,15	6,79	7,41	7,04
356	0,42	0,51	1,54		7,66	7,30	7,18	6,82		
366	0,48	0,55	0,97	3,12	7,73	7,36	7,22	6,86	7,52	7,11
370	0,23	0,30	0,92	3,32	7,41	7,04	6,96	6,60	7,26	6,86
373	0,60	0,52	0,52	24,00	7,87	7,51	7,25	6,89	7,49	7,08
Mrk 408	0,12	0,38	1,06	3,00	7,12	6,76	7,06	6,70	7,36	6,96

В таблице 10 приведены относительные интенсивности основных линий величины $\lg X$ и логарифмы чисел ионов N^+ и S^+ для 12 галактик высокой поверхностной яркости, перечисленных в первом столбце в предположении, что число водородных атомов равно 10^{12} . Как и в таблице 9, содержание ионов определялось для двух значений электронной температуры - 7500 и 10000 К. Данные двух последних столбцов получены методом, предложенным Боярчуком и др. (1969).

Наконец в таблице 11 приведены аналогичные данные для 27 галактик Маркарьяна из первых четырех списков (Маркарян 1967, 1969 а, б и Маркарян и Липовецкий 1971).

Разумеется, приведенные результаты не свободны от некоторых предположений. В первую очередь следует отметить, что они получены для двух принятых значений электронной температуры - 10000 и 7500 К. Однако, зависимость вычисленных параметров от электронной температуры довольно слаба и это дает нам основание считать обоснованным дальнейшее их сравнение с аналогичными параметрами, полученными для пекулярных объектов.

С другой стороны, вследствие сравнительно слабой зависимости параметра X от электронной температуры, значения $\lg X$, приведенные в пяти столбцах таблиц 9, 10, 11, близки к значениям $\lg n_e$ в довольно широком интервале электронных температур. Следовательно, мы можем заключить, что в зонах [O II] галактик, не относящихся к сейфертовскому типу, $\langle \lg X \rangle \approx 9$. При этом замечается небольшая разница между средними n_e по галактикам, взятых случайно, (таблице 9) с одной стороны, и галактикам из таблиц 10 и 11, с другой.

Г Л А В А III

ФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ЯДРАХ ПЕКУЛЯРНЫХ ОБЪЕКТОВ

§ I. ВВЕДЕНИЕ

Определением физических условий в ядрах пекулярных объектов и в частности в сейфертовских галактиках занимался ряд авторов. На основе данных спектрофотометрии определялись электронная плотность и температура и содержание ионов в галактике *MGC 1068* (Дибай и Проник, 1965, Остерброк и Паркер, 1965). Дибай и Проник (1967) рассматривали физические условия в галактике *MGC 1275*, принимая нормальный химический состав. Дибай, Езипов и Проник (1967) изучали галактику *MGC 5548*, а Дибай и Проник (1967) подробно рассматривали физические условия в ядрах шести сейфертовских галактик, включая и *MGC 1068* и *1275*. Воронцов-Вельяминов и Дибай (1968) и Лук и Сарджент (1968) изучили галактику *MGC 4151*. В дальнейшем изучением физических условий в ядрах галактик Сейферта занимались Рубин и Форд (1968), Андерсон (1970), Вамплер (1971), Шийлс и др. (1972). Аллоин периодически изучает *MGC 3516* и др. Нойгебауер и др. (1976) исследовали спектрофотометрически 18 галактик Маркаряна, примерно половину из которых составляли объекты Сейфертовского типа. Смит и др. (1976) определили физические условия в ядрах трех *M*-галактик с большими красными смещениями. С историческим аспектом вопрос о физических условиях в ядрах пекулярных объектов рассматривался многими авторами (см., например, Колвер, 1959, Проник, 1976, 1977, Левинсон, 1972).

В настоящей главе сделана попытка определения некоторых физических условий в ядрах сейфертовских галактик и радиогалактик применением единой методики к более полному и по возможности однородному наблюдательному материалу.

§ 2. ЗАВИСИМОСТИ СЕРВИСНОСТИ И ПОТОГА В ЛИНИИХ ОТ ПОКАЗАТЕЛЯ ЦВЕТА ДЛЯ СЕЙФЕРТОВСКИХ ГАЛАКТИК ТИПА *NGC 4151*.

Аракелянном (1977) были рассмотрены зависимости от показателя цвета U — В эквивалентных шириин линий $H\beta$ и $[O III]$ и их отношения ^и интенсивностей этих линий для примерно 15 галактик сейфертовского типа. Им сделан вывод, что при посинении сейфертовских галактик, запрещенные линии в среднем ослабевают, а водородные линии усиливаются. Между тем, у галактик, не относящихся к сейфертовскому типу, и те и другие линии с посинением заметно усиливаются. Поскольку среди галактик, рассмотренных Аракелянном, имеются объекты обоих типов сейфертовских галактик, то имеет смысл проверить эти результаты на материале, более однородном с точки зрения классификации сейфертовских галактик (Петров, 1979а).

Для этой цели нами использован наблюдательный материал, любезно предоставленный Видманом. Этот материал был получен с августа 1975 по февраль 1976 года с тем же спектральным сканером на телескопах 2,1 и 4 м обсерваторий Мак Дональд и Кит Пик и содержит спектры 25 сейфертовских галактик типа *NGC 4151* (типа I по классификации Хачикяна и Видмана, 1974), т.е. галактик с широкими водородными и узкими запрещенными линиями. Для каждого из объектов Mrk 304 и Mrk 374 мы располагали тремя спектрами, а для Mrk 352 и Mrk 509 имелось по два спектра.

Результаты фотоэлектрических UVV наблюдений имелись лишь для 20 из них. Данные о цветах и красных смещениях взяты из олодки Видмана (1977). По спектрограммам определены эквивалентные ширины линий $H\alpha$, $H\beta$ и $[O III]\lambda\lambda 4959, 5007$. Далее, принимая,

Таблица 12

Эквивалентные ширины, потоки и светимости эмиссионных
линий сейфертовских галактик типа *NGC 4151*

Объект	$(U-B)_0$	$(B-V)_0$	Z	M_{V_0}	$\lg W_{H\alpha}$	$\lg W_{H\beta}$	$\lg W_{[OIII]}$
Mrk 6	-0,08	0,83	0,018	-20,59	2,60	1,90	2,30
9	0,74	0,42	0,040	23,01	2,30	1,86	1,67
10	0,64	0,55	0,029	22,12	2,49	1,75	1,92
42	0,24	0,73	0,024	20,04	2,21	1,36	1,17
79	0,83	0,35	0,022	22,42	2,71	2,04	2,09
110	0,73	0,68	0,036	21,61	2,93	2,19	2,45
205	1,00	0,31	0,071	23,85	2,50	1,77	1,56
304	0,93	0,26	0,066	24,33	2,59	2,11	1,50
335	0,76	0,32	0,025	22,73	2,60	2,01	1,60
352	0,74	0,33	0,015	20,70	2,41	1,94	1,37
374	0,49	0,55	0,044	22,88	2,18	1,80	1,72
376	0,68	0,41	0,056	23,69	2,42	1,82	1,44
382	0,72	0,39	0,034	22,91	2,05	1,67	1,61
Mrk 509	1,02	0,11	0,036	24,80	2,79	2,15	2,08
<i>NGC</i> 7469	0,78	0,46	0,017	22,54	2,45	1,74	1,83
<i>NGC</i> 7603	0,27	0,64	0,029	22,19	2,08	1,45	1,45
I Zw 1	0,86	0,33	0,061	24,54	2,38	1,77	1,43
II Zw 136	0,97	0,10	0,062	24,69	2,62	2,16	1,76
III Zw 2	0,76	0,44	0,090	23,19	2,08	1,73	1,37
3C 390.3	-0,79	0,54	0,057	-23,02	2,72	2,07	2,23

$\lg L_{H\beta} [\text{erg/s}] = (M - 39 + \lg L_{H\beta}) [\text{pt/s}]$
 Таблица 12 - продолжение

$L_{H\beta} [\text{erg/s}] = 2.45 \cdot 10^{11} [\text{pt/s}]$ *

Маса на звездата $\frac{M}{10^8 M_{\odot}}$	Объект	$\lg F_{H\beta}$	$\lg F$ [от]	$\lg L_{H\beta}$ [erg/sec]	$\lg L$ [от]	$\frac{L_{4686}}{L_{H\beta}}$ (lg...)	$\lg \mu$	M_{\odot}
	Мрк ** 6	-12,22	-11,82	41,92	42,32			
	9	12,35	12,56	42,48	42,27			
0.22	10 ^v	12,48	12,31	42,07	42,24	(-0.35) 0.44	27.3	0.05
	42	13,68	13,86	40,71	40,53			
0.84	— 79 ^v	-11,94	11,90	42,37	42,31	(-0.85) 0.14	26.5	0.7
0.63	110 ^v	12,38	12,12	42,36	42,62	(-0.7) 0.20	26.75	0.4
	205	12,71	12,94	42,62	42,39			
1.6	304 ^v	12,13	12,76	43,14	42,51	(-0.82) 0.15	26.7	2.5
0.55	335 ^v	11,90	12,32	42,53	42,11	(-0.48) 0.33	27.0	0.3
0.1	352 ^v	12,36	12,94	41,63	41,05	(-0.35) 0.44	27.3	0.01
0.62	374 ^v	12,45	12,53	42,47	42,39	(-0.54) 0.29	26.9	0.38
	376 ^v	13,17	13,56	41,96	41,57			
0.03	382 ^v	13,11	13,18	41,58	41,51	(-0.187) 0.65	27.55	0.008
1.3	Мрк 509 ^v	11,50	11,61	43,23	43,13	(-0.54) 0.29	26.9	1.7
0.47	NGC 7469 ^v	11,86	11,78	42,23	42,31	(-0.60) 0.25	26.8	0.22
	NGC 7603	12,58	12,57	41,97	41,98			
	I Zw I ^v	12,21	12,57	42,99	42,63			
2.5	II Zw 136 ^v	11,89	12,31	43,32	42,89	(-0.85) 0.14	26.5	6.5
0.9	III Zw 2 ^v	13,08	13,43	42,13	41,78	(-1.15) 0.07	26.2	0.8
	BC 390.3	-12,46	-12,30	42,68	42,84			

* Вижте и табл. 18. Отбелязаните с "V" са обични за тези таблици
 ** Отбелязаните са включени в друг. работа на Мария Велчева

что спектральное распределение энергии ядра описывается степенным законом вида $F_{\nu} = C \cdot \nu^{-n}$ и используя исправленный за покраснение в Галактике показатель цвета $(B - V)_0$, для каждой галактики по данным Метьюза и Сандейджа (1963) был подобран показатель n . Для $n > 2$ зависимость между $(B - V)_0$ и n экстраполирована. Аппроксимировав непрерывный спектр каждой галактики степенной функцией с соответствующим n и используя красные смещения, приведенные Видманом, мы вычислили потоки и светимости в линиях H_{β} и $[O III]$. Наши вычисления согласуются с данными Адамса и Видмана (1975) и Видмана (1976). Потоки и светимости в линии H_{α} не вычислялись, так как для этого необходимо экстраполировать непрерывный спектр в область, не охватываемую UBV наблюдениями.

Все исходные данные и результаты вычислений собраны в таблице I2, которая содержит: 1 - объект, 2 - и 3 - исправленные за покраснение света в Галактике показатели цвета, 4 - красное смещение, 5 - абсолютная звездная величина объекта в системе U при $H = 50$ км/сек. Мпс, исправленная за поглощение света в Галактике, 6, 7 и 8 - логарифмы эквивалентных ширин линий H_{α} , H_{β} и $[O III]$, 9 и 10 - логарифмы потоков в линиях H_{β} и $[O III]$ в $[\text{эрг.см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}]$, 11 и 12 - логарифмы светимостей в линиях H_{β} и $[O III]$ в $[\text{эрг.сек}^{-1}]$.

На рисунке II приведены эквивалентные ширины линий H_{α} , H_{β} , $[O III]$ и их отношения, а также и вычисленные нами потоки в линиях в зависимости от показателя цвета $(U - B)_0$, а на рисунке I2 - те же величины в зависимости от показателя цвета $(B - V)_0$. По этим данным получается, что чем синее галактика, тем интенсивнее водородные линии - результат, который отмечают Проник

(1972) и Аракелян (1977). Эквивалентные ширины запрещенных линий практически не зависят от показателя цвета. Коэффициент регрессии и корреляции для линии $H\beta$ по нашим данным хорошо согласуются с величинами, полученными Аракеляном, но для линий $[O III]$ они сильно отличаются. Можно поэтому предполагать, что эффект, отмеченный Аракеляном обусловлен тем, что им рассматривались совместно объекты обоих типов — типа *NGC* 1068 и типа *NGC* 4151. Этот результат является несколько формальным, поскольку, если из рассмотрения исключить галактики Мрк 6, Мрк 42 и *NGC* 7603, зависимость $\log W [III]$ от $(U - V)_0$ изменит свой характер и станет сходной с зависимостью, полученной Аракеляном. То же самое имеет место и для зависимости $\log W [O III]$ от M_{V0} . Следует, при этом, отметить, что Коски (1978) относит галактику Мрк 6 к промежуточному типу, а галактику Мрк 42 — ко второму типу, но с сильными линиями железа, характерными для сейфертовских галактик первого типа. На основании результатов, полученных Аракеляном, можно было ожидать, что после исключения этих галактик, полученная нами зависимость будет выражена сильнее. Действительно, после исключения этих галактик, угловой коэффициент зависимости несколько возрастает, однако, остается меньше, чем величина, полученная Аракеляном.

На рисунке 13 показаны зависимости эквивалентных ширин линий $H\alpha$, $H\beta$ и $[O III]$ и их отношения, а также и потоки в линиях $H\beta$ и $[O III]$ от абсолютной звездной величины M_{V0} , исправленной за поглощение света в Галактике. Сильное сходство между рисунками 11 и 13 указывает на то, что наблюдаемые зависимости обусловлены в первую очередь мощностью ультрафиолетового излучения. В связи с этим, представляет очевидный интерес сравнение полученных зависимостей с аналогичными зависимостями между светимостью

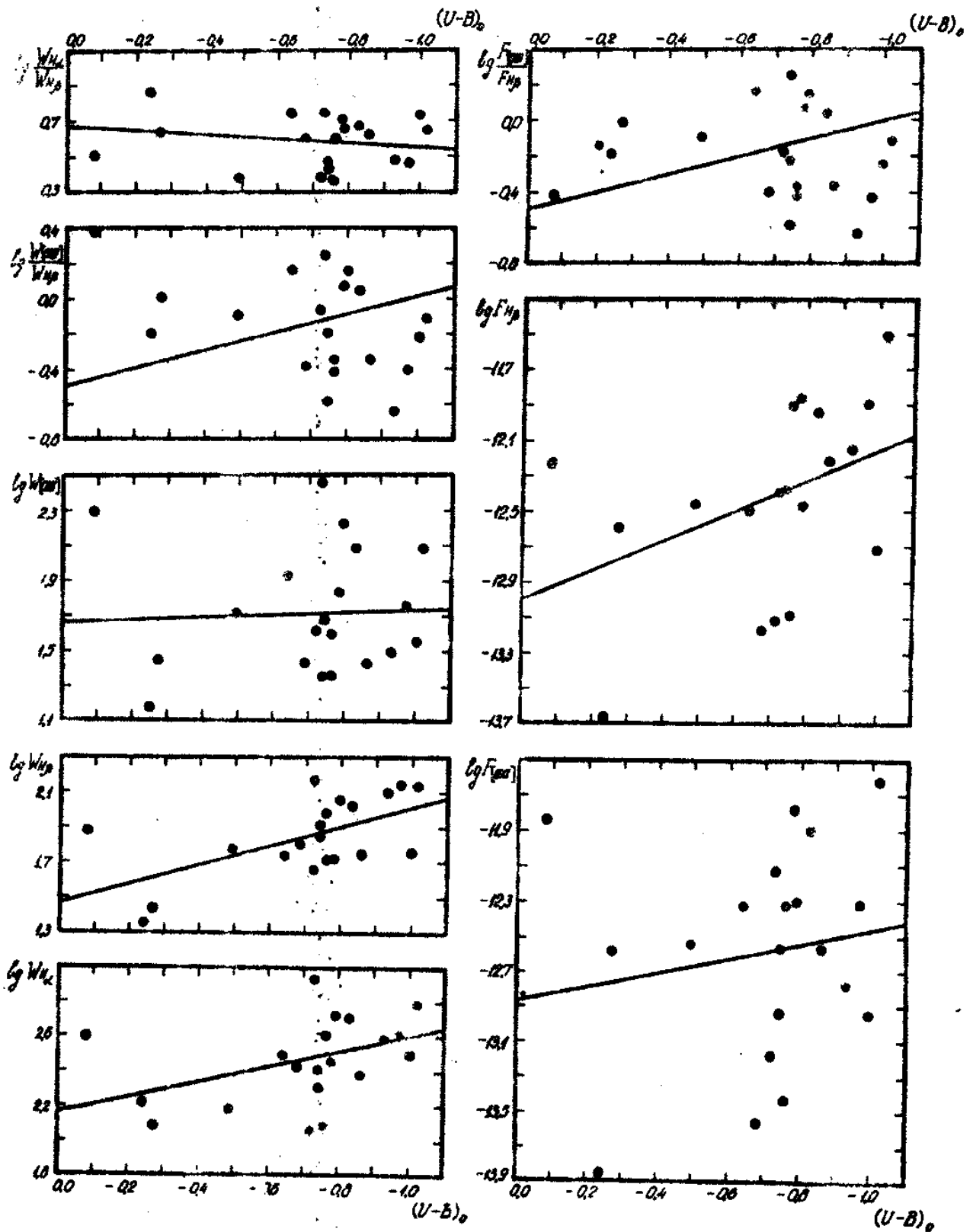


Рис. 11 - Зависимость индексов интенсивности и потока в линиях от показателя цвета $U-B$ для сейфертовских звездных типа NGC 4151.

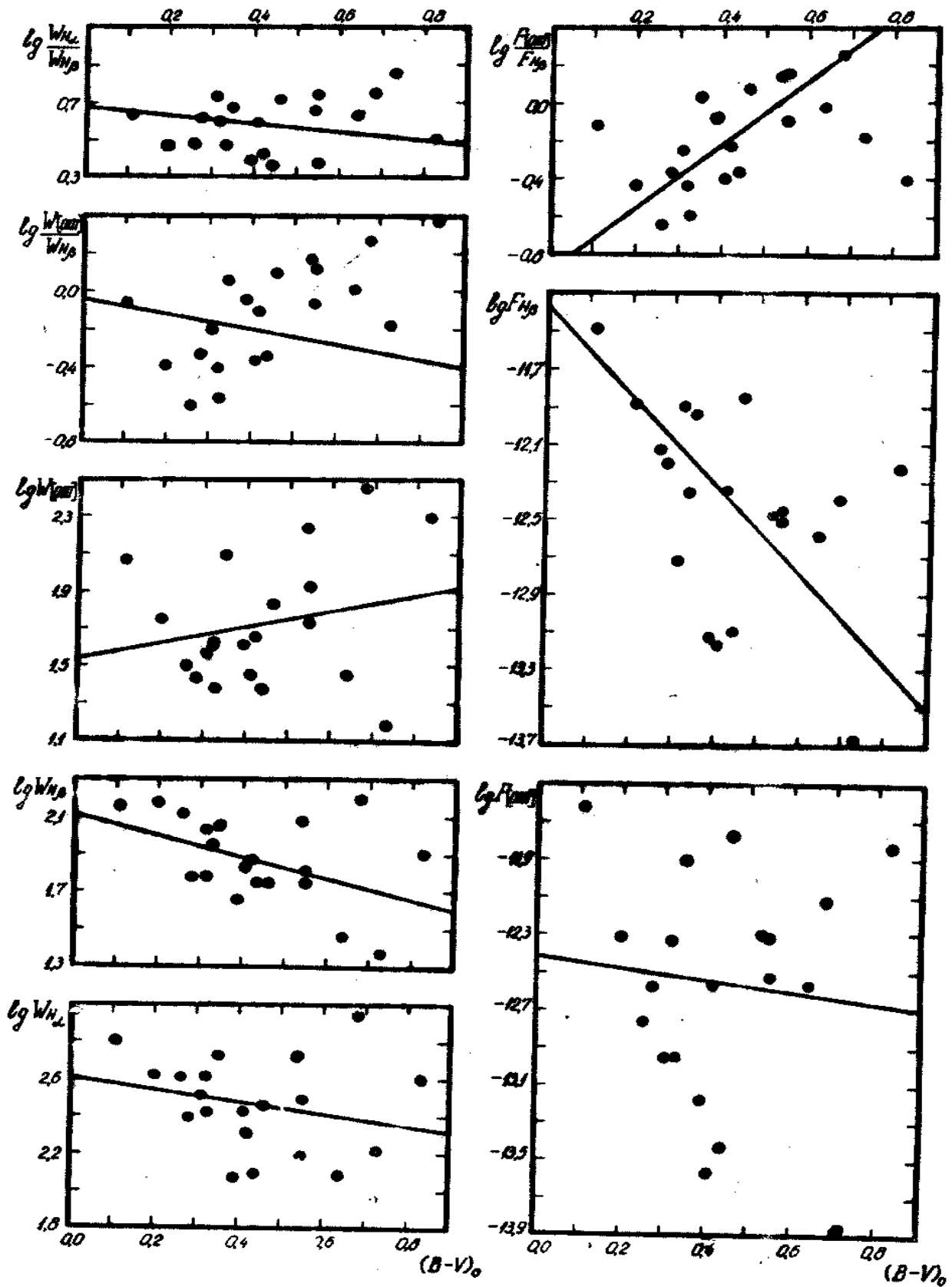


Рис. 12 - Зависимости светимости и потока в линиях от показателя цвета $B - V$ для сейфертовских галактик типа NGC 4151.

в линиях и мощностью рентгеновского излучения. Соответствующие данные для 10 сейфертовских галактик типа *MGC 4151* (включая и *MGC 1275*) приведены Елвисом и др. (1978). Эти данные свидетельствуют о том, что с ростом рентгеновской светимости возрастает светимость в линиях H_{α} , $[O III]$ и $He II$. Указанные зависимости приведены на рисунке 14, а в таблице 13 собраны все коэффициенты регрессии и корреляции в зависимости эквивалентных ширин, потоков и светимостей в линиях от показателей цвета, мощности ультрафиолетового излучения и от мощности рентгеновского излучения.

Для полноты приведем аналогичные зависимости для сейфертовских галактик и галактик несейфертовского типа, полученные Аракелян (1976, 1977) и Хухра (1977); (R — коэффициент корреляции).

а/ для сейфертовских галактик обоих типов (Аракелян 1977)

$$\lg W [OIII] = 0,28 (U-B)_0 + 1,51 \quad R = 0,32$$

$$\lg W_{H\beta} = -0,69 (U-B)_0 + 1,08 \quad R = -0,79$$

$$\lg W [OIII] / W_{H\beta} = 0,93 (U-B)_0 + 0,46 \quad R = 0,77$$

Для галактик несейфертовского типа

б/ Аракелян (1976, 1977)

$$\lg W [OIII] = -1,16 (U-B)_0 + 0,80 \quad R = -0,57$$

$$\lg W_{H\beta} = -0,67 (U-B)_0 + 0,72 \quad R = -0,37$$

$$\lg W [OIII] / W_{H\beta} = -0,44 (U-B)_0 + 0,12 \quad R = -0,29$$

в/ Хухра (1977)

$$\lg W_{H\beta} = -1,39 (U-B) + 0,61 \quad R = -0,65$$

$$\lg W_{H\beta} = -0,93 (B-V) + 1,45 \quad R = -0,28$$

$$5007 / H_{\beta} = -3,16 (U-B) + 1,47 \quad R = -0,41$$

$$5007 / H_{\beta} = -2,63 (B-V) + 3,61 \quad R = -0,24$$

Кохен (1976), исследовавшей эмиссию в линии H_{α} в ядрах 53 спиральных галактик несейфертовского типа, отмечает, что с уменьшением показателя цвета $(B-V)$ галактики, эквивалентная ширина линии H_{α}

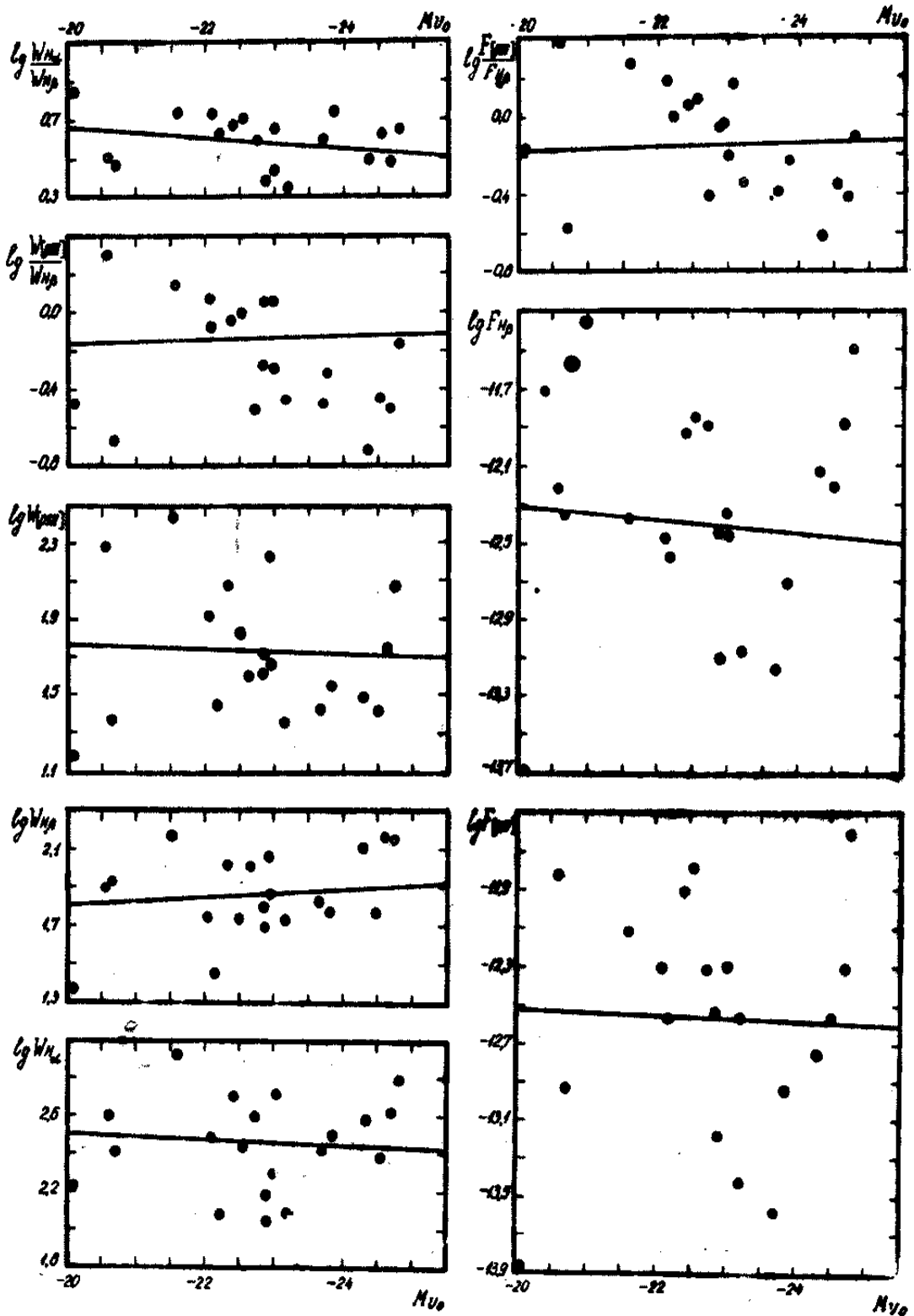


Рис. 10 - Зависимости концентрации и потока в линии от абсолютной звездной величины ядра в ультрафиолете для сейфертовской галактики типа NGC 4151.

Таблица 13 а

Коэффициенты регрессии и корреляции в зависимости:
 "Интенсивность линий - показатель цвета или абсо-
 лютная величина "

$x \backslash y$	a	R	a	R	a	R
	$\lg W_{H\beta}$		$\lg W[\text{OHII}]$		$\lg \frac{W[\text{OHII}]}{W_{H\beta}}$	
$(U - B)_0$	-0,53 $\pm 0,17$	-0,58 $\pm 0,15$	-0,03 $\pm 0,32$	-0,02 $\pm 0,22$	0,49	0,44
MU_0	-0,06 $\pm 0,04$	-0,38 $\pm 0,19$	-0,03 $\pm 0,07$	-0,08 $\pm 0,22$	0,04	0,30
$(B - V)_0$	-0,54	-0,44	0,43	0,22	0,97	0,61

$x \backslash y$	a	R	a	R	a	R	a	R
	$\lg F_{H\beta}$		$\lg F[\text{OHII}]$		$\lg L_{H\beta}$		$\lg L[\text{OHII}]$	
$(U - B)_0$	-0,89 $\pm 0,44$	-0,43 $\pm 0,18$	-0,39 $\pm 0,56$	-0,16 $\pm 0,22$	-1,70 $\pm 0,42$	-0,69 $\pm 0,12$	-1,20 $\pm 0,52$	-0,48 $\pm 0,17$
MU_0	-0,14 $\pm 0,08$	-0,37 $\pm 0,19$	-0,06 $\pm 0,11$	-0,13 $\pm 0,22$	-0,38 $\pm 0,06$	-0,83 $\pm 0,07$	-0,30 $\pm 0,08$	-0,66 $\pm 0,28$
$(B - V)_0$	-2,52	-0,43	-0,28	-0,09	-2,16	-0,64	-1,14	-0,38

Таблица 136

Коэффициенты регрессии и корреляции

	$\lg L_{H\alpha}$		$\lg L_{H\beta}$		$\lg L [\text{ом}]$	
	a	R	a	R	a	R
$\lg L_x$	0,71	0,83	0,69	0,75	0,28	0,58
Δ	$\pm 0,17$	$\pm 0,10$	$\pm 0,22$	$\pm 0,14$	$\pm 0,14$	$\pm 0,21$

	$\lg \frac{L [\text{ом}]}{L_{H\beta}}$		$\lg L_{He II}$		M_{V0}	
	a	R	a	R	a	R
$\lg L_x$	-0,41	-0,61	0,64	0,67	-2,77	-0,87
Δ	$\pm 0,19$	$\pm 0,20$	$\pm 0,20$	$\pm 0,24$	$\pm 0,55$	$\pm 0,08$

Таблица 14

Коэффициенты регрессии и корреляции по данным Остерброка

		$\lg W_{H\beta}$	$\lg \frac{I [\text{ом}]}{I_{H\beta}}$	$\lg \frac{I [\text{ом}]}{I_{H\beta}}$	$\lg \frac{I [\text{м}]}{I_{H\beta}}$	$\lg \frac{I [\text{с}]}{I_{H\beta}}$
		$(U - 2)_0$	a	-0,38	0,41	0,70
	Δa	$\pm 0,15$	$\pm 0,28$	$\pm 0,35$	$\pm 0,39$	$\pm 0,33$
	R	-0,43	0,26	0,37	0,38	0,39
	ΔR	$\pm 0,14$	$\pm 0,16$	$\pm 0,16$	$\pm 0,18$	$\pm 0,14$

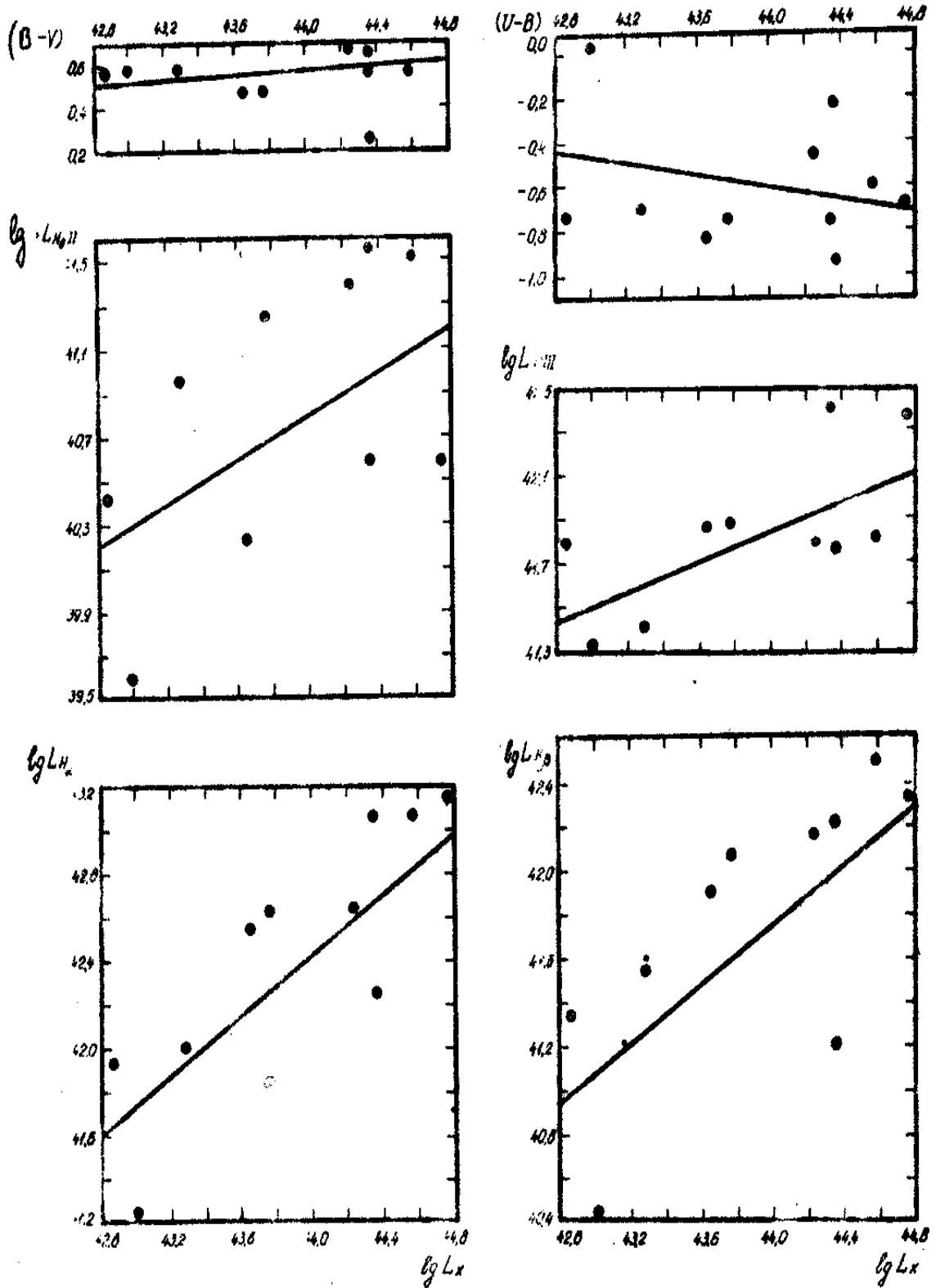


Рис. 11 - Зависимость спектральных индексов от логарифма светимости для одной орбитальной популяции галактики NGC 4151.

увеличивается.

Полученные результаты можно суммировать таким образом:

а/ с посинением галактики или с ростом светимости в ультрафиолете эквивалентные ширины водородных линий, а также светимости и потоки в этих линиях увеличиваются.

б/ эквивалентные ширины линий [O III] практически не зависят от показателя цвета и от светимости в ультрафиолете. Потоки и светимости в линиях [O III], однако, увеличиваются с посинением или с ростом светимости в ультрафиолете.

в/ отношение эквивалентных ширин линий [O III] и водородных линий уменьшается с посинением галактики и с ростом светимости в ультрафиолете. Для галактик, не относящихся к сейфертовскому типу, как показано Аракелян, это отношение увеличивается.

Отношение потоков и светимостей в [O III] и $H\beta$ также уменьшается с посинением.

г/ с увеличением рентгеновской светимости увеличивается светимость водородных, гелиевых и запрещенных линий. Отношение светимостей в линиях [O III] и $H\beta$ уменьшается с увеличением рентгеновской светимости.

Как заметил Аракелян, возникновение запрещенных линий в разных областях с повышенной электронной плотностью может объяснить различие между поведением запрещенных и водородных линий при посинении галактик. Ранее вывод о высокой электронной плотности в ядрах сейфертовских галактик на основе данных спектрофотометрии был сделан Видманом и Хачикяном (1971). Из изложенных выше результатов следует, что:

а/ ионы O^{++} светятся в областях с такими высокими электронными плотностями, что зависимость относительных интенсивностей за-

решенных линий от значения плотности пренебрежимо мала. С другой стороны, поскольку существует верхний предел значения электронной плотности, при которой эти линии могут ещё излучаться (около 10^7 cm^{-3}), то полученный результат есть в свою очередь свидетельство о дисперсии электронных плотностей в зонах [O III] различных сейфертовских галактик типа NGC 4151. Этот вывод подтверждается результатами непосредственного определения физических условий в областях, излучающих в линиях [O III] $\lambda\lambda 4959, 5007$, приведенными в следующем параграфе. Рассматривая аналогичные зависимости и для других запрещенных линий, можно получить более полное представление о физических условиях в ядрах галактик.

б/ эквивалентные ширины линий сами по себе не являются наилучшим индикатором физических условий в ядрах сейфертовских галактик. По-видимому, это связано с тем обстоятельством, что с ростом светимости в ультрафиолете вместе с интенсивностью линий возрастает и интенсивность непрерывного спектра. По данным таблицы 3 можно заметить, что с переходом от эквивалентных ширин к светимостям в линиях, описанные зависимости оказываются выражены сильнее. Особенно заметно возрастают коэффициенты регрессии и корреляции для линий [O III].

§3. ФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ЯДРАХ СЕЙФЕРТОВСКИХ

ГАЛАКТИК ТИПА NGC 4151

В предыдущем параграфе рассматривались зависимости эквивалентных ширин водородных и запрещенных линий сейфертовских галактик типа NGC 4151 от показателей цвета ($U - B$) и ($B - V$) и от абсолютной величины M_U и аналогичные зависимости для светимостей и потоков в тех же линиях. Полученные зависимости, как и данные, полученные ранее Видманом и Хачикяном и Аракелянном, указывают на

то, что линии $[O III]$ у сейфертовских галактик типа *NGC 4151* возникают в областях с сравнительно высокой электронной плотностью.

Для проверки этого предположения нами использованы эмиссионных линий $4I$ галактики с широкими эмиссионными линиями (36 сейфертовских галактик и 5 радиогалактик). В их число входят большинство галактик, рассмотренных Аракелянном и автором (см. предыдущий параграф).

Эквивалентные ширины, определенные нами по спектрам, предоставленным Видманом, в большинстве случаев не отличаются от данных, приведенных Остерброком более, чем на 0,1 – 0,2 в логарифмической шкале. Лишь в нескольких случаях различие достигает 0,5.

Зависимость эквивалентной ширины линии $H\beta$, а также относительных интенсивностей линий $[O II]$, $[O III]$, $[N II]$, $[S II]$ от показателя цвета $U - B$, полученная по данным Остерброка, иллюстрируются таблицей 14, где для разных линий приведены угловые коэффициенты этих зависимостей, а также и коэффициенты корреляции. Сами зависимости показаны на рисунке 15. Как видим, для линий $H\beta$ и $[O III]$ они мало отличаются от соответствующих зависимостей, приведенных в предыдущем параграфе. Подобный характер зависимости был интерпретирован, как уже отмечалось, как свидетельство высокой электронной плотности в зонах, ответственных за свечение иона O^{++} . Что касается линий $[O II]$, $[N II]$ и $[S II]$, то обращает на себя внимание прекрасное согласие между угловыми коэффициентами, а также коэффициентами корреляции, характеризующими зависимости их интенсивностей от показателя цвета. С другой стороны это указывает на то, что ионы O^+ , N^+ и S^+ излучают в од-

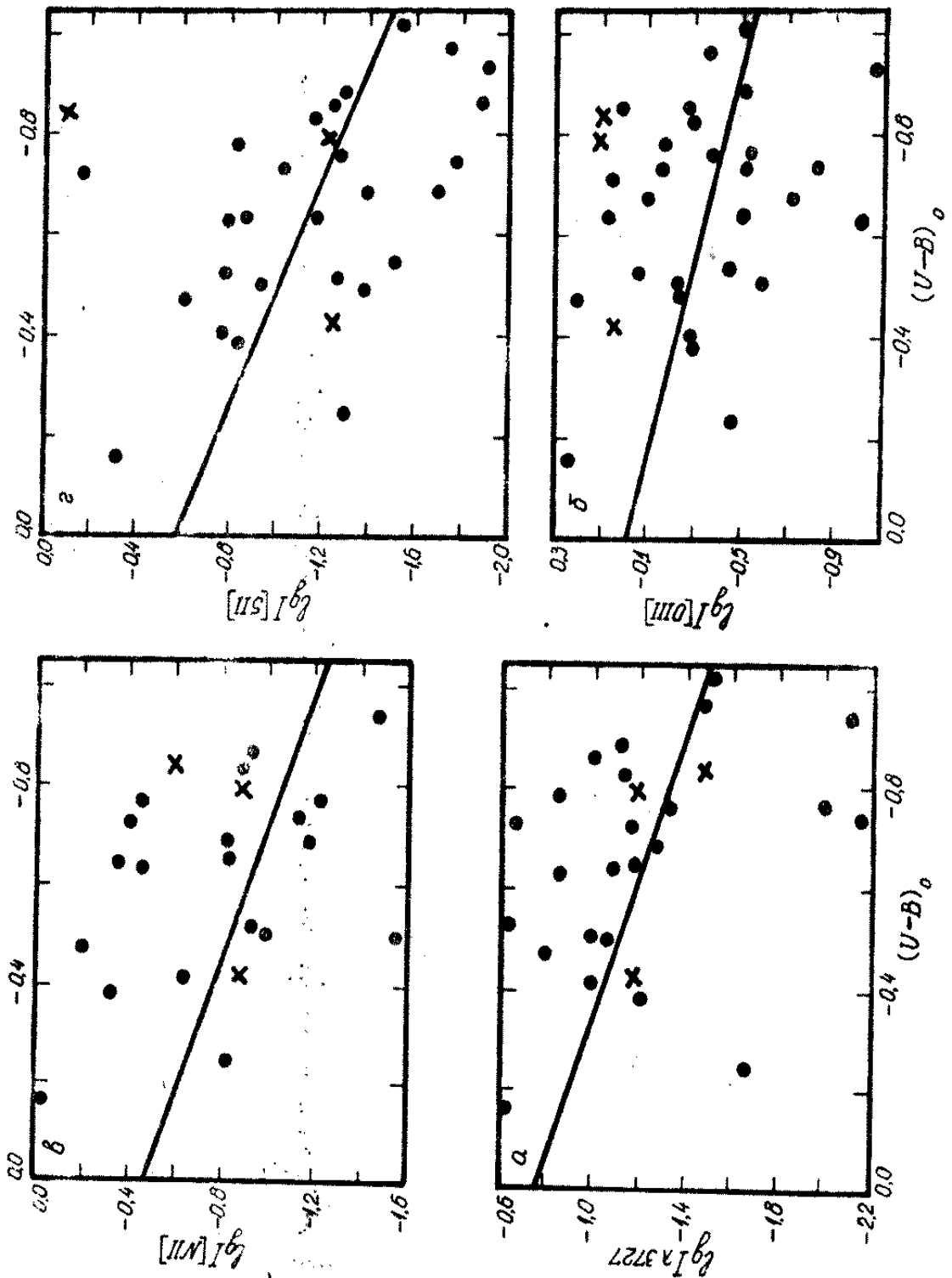


Рис. 15 - Зависимости интенсивности эмиссионных линий от показателя цвета $U-B$ согласно данным Остерброка (1977). Точки - сейфертовские галактики типа NGC 4151, крестики - радиогалактики с широкими линиями.

ном и том же объеме.

Для определения физических условий в ядрах галактик Сейфорта нами применялся метод пересечения кривых Ситона (1954) в варианте, предложенном Боярчуком и др. (1969). При этом, следуя Нойгебауэру и др. (1976), мы предполагали, что во всех объектах схематически существуют три зоны свечения — водородная зона H, зона [O III] и зона [O II]. В зоне [O III] светятся ионы O^{++} , Az^{++} , Ne^{++} ; в зоне [O II] излучают ионы O^+ , N^+ и S^+ . Так как примерно 60 % этих галактик показывают линии [Fe VII], то возможно существует и четвертая зона, в которой светятся ионы Fe^{+6} и Ne^{+4} . Естественно, в каждом отдельном случае может иметь место известное отклонение от предложенной схемы — т.е. некоторые зоны могут сосуществовать или отсутствовать. Подобная многокомпонентная модель рассматривалась ранее Либаем и Проником (1967) и другими. Боесхар (1974) отмечал эффект стратификации для планетарных туманностей.

Рассмотрим сначала физические условия в зоне [O III]. Так как Остерброк не приводит данных о линиях [Ne III] $\lambda\lambda$ 3343, 3869, 3968, то мы не имели возможности непосредственно применить метода Ситона для независимого определения электронных плотностей и температур. Единственной кривой равных отношений, которую возможно использовать, является $I_{\lambda 4363} / (I_{\lambda 4959} + I_{\lambda 5007}) = const$ для [O III]. Поэтому мы вынуждены принять определенный химический состав и степень ионизации излучающего газа. Химический состав был принят нами в соответствии с моделями 1, 2 и 3 Лэвидсона (1972). Что касается степени ионизации, то следуя Боярчуку и др. (1969) и Янкуловой (1974) примем для водорода $H II / H I = 0,5$ и рассмотрим два значения степени ионизации кислорода: $O III / O I = 0,5$

и 0,75. При этих данных мы определяли кривые равных значений функций $\lg \theta_i(n_e, T_e)$ для иона O^{++} . Таким образом n_e и T_e для зоны [O III] определялись по пересечению кривых (1) $I_{\lambda 4363} / (I_{\lambda 4959} + I_{\lambda 5007}) = const$ (2) $-\lg \theta_i(n_e, T_e)$ для линии $\lambda 4363$ и (3) $-\lg \theta_i(n_e, T_e)$ для линий $\lambda \lambda 4959, 5007$. На рисунке 16а для иллюстрации показано определение n_e и T_e для трех сейфертовских галактик и одной радиогалактики с широкими линиями. Полученные результаты представлены во втором – пятом столбцах таблицы 15. Как видно из таблицы, физические условия в зоне [O III] для различных галактик очень близки и в среднем таковы:

а/ для 50 % ионизации кислорода

$$\lg T_e = 3,89 \quad \sigma^2(\lg T_e) = 0,002$$

$$\lg n_e = 6,72 \quad \sigma^2(\lg n_e) = 0,113$$

б/ для 75 % ионизации кислорода

$$\lg T_e = 3,95 \quad \sigma^2(\lg T_e) = 0,014$$

$$\lg n_e = 6,60 \quad \sigma^2(\lg n_e) = 0,078$$

Различия между результатами, соответствующими двум рассмотренным случаям невелики. Следует отметить также очень хорошее совпадение между n_e и T_e , определенными соответственно по кривым (1) и (2), (1) и (3) и (2) и (3). Следовательно, полученные величины мало зависят от исходных предположений и вероятно характеризуют истинную картину. Полученные результаты для значений электронных плотностей и температур в зонах [O III] сейфертовских галактик типа NGC 4151 согласуются с интерпретацией зависимости интенсивности эмиссионных линий от показателя цвета, предложенной Аракелян и автором, а также с моделью Проника (1977). С видом этой зависимости хорошо согласуется также малая дисперсия электронных температур. Подобные результаты для шести сейфертовских

галактик получил Остерброк (1970б)

Рассмотрим далее данные о зоне [O II]. Интенсивности линий [O II] $\lambda\lambda 7320, 7330$, [S II] $\lambda\lambda 4068, 4076$ и [N II] $\lambda 5755$ Остерброком не приводятся и кривых постоянного отношения как в случае зоны [O III] у нас не было. Поэтому значения электронных плотностей и температур определялись в предположении, что линий [N II] $\lambda 5755$ и [S II] $\lambda\lambda 4068$ и 4086 имеют интенсивность $I_\lambda = 0,005$ по отношению к $I_{H\beta}$ (минимальная интенсивность, уверенно определяемая Остерброком (1977)). Получаются две линии равных отношений, пересечение которых дает значения n_e и T_e , независимо от химического состава и степени ионизации. В качестве контроля может быть использован приведенный Остерброком (1974) график, непосредственно задающий величину $X = 10^2 n_e T_e^{-1/2}$, т.е. значения n_e в предположении, что $T_e = 10^4$ К. Этот параметр независим от каких-либо предположений.

По полученным значениям n_e и T_e , можно вычислить величину $X_{\text{выч}}$ и сравнить её со значением, полученным по графику.

Значения n_e и T_e , полученные в предположении, что относительные интенсивности линий [N II] $\lambda 5755$ и [S II] $\lambda\lambda 4068, 4086$ равны $0,005 I_{H\beta}$, приведены в шестом и седьмом столбцах таблицы 15. В восьмом столбце приведены соответствующие значения $X_{\text{выч}}$, а в девятом столбце — теоретические значения X согласно Остерброку (1974). Из таблицы видно, что согласие между этими величинами неплохое — для II случаев из I7, для которых такое сравнение возможно, $|\lg X_{\text{выч}} - \lg X| \leq 0,5$ —, т.е. примерно для 2 / 3 случаев метод дает приемлемые результаты.

Для зоны [O II] n_e и T_e меняются в следующих границах:

$$3,80 \leq \lg T_e \leq 5,50 \quad 1,20 \leq \lg n_e \leq 4,50$$

$$\text{При этом } \langle \lg T_e \rangle = 4,23$$

$$\sigma^2(\lg T_e) = 0,13$$

$$\langle \lg n_e \rangle = 3,07$$

$$\sigma^2(\lg n_e) = 0,76$$

Значение $\lg T_e = 5,50$ получается для объекта Mrk 304, который отличается от остальных объектов высокими значениями n_e и T_e и для зоны [O III]. Следует, однако, отметить, что для этого объекта $|\lg X_{\text{выч}} - \lg X| = 0,33$. Это делает галактику Mrk 304 чрезвычайно интересной для дальнейшего более подробного исследования. После исключения Mrk 304, электронная температура меняется в границах 3,80 – 4,64. Можно заметить, что температуры зон [O II] получаются в среднем несколько более высокими, чем в зоне [O III] результат, который ранее для областей H II получил Пеймберт (1967), а для сейфертовских галактик есть следствие: фотоионизационных моделей ядер, рассчитанные Мак Алпайном (1972, 1974) и результаты Мартино (1974) и Кюнта и Сарджента (1978).

Определение физических условий в зоне [O II] иллюстрируется рисунком I6^б, на которой N и S означают соответственно линии равных отношений для азота и серы, а 1, 2 и 3 обозначены линии $\lg \theta_i(n_e, T_e)$ для линий [O II] $\lambda 3727$, [S II] $\lambda \lambda 6717, 6731$ и [N II] $\lambda \lambda 6548, 6584$, принимая нормальный химический состав и 25 % степени ионизации для кислорода, азота и серы. Поскольку результаты для n_e и T_e , полученные по пересечению этих линий, сильно расходятся, то они обсуждаться в дальнейшем не будут.

Все полученные результаты сводятся к следующему: по относительным интенсивностям запрещенных линий 36 сейфертовских галактик типа NGC 4151 и 5 радиогалактик с широкими линиями получается, что, если запрещенные линии излучаются в двух зонах, соответствующих разным потенциалам ионизации, то условия в зоне [O III] в среднем характеризуются параметрами $\lg T_e \sim 4$

и $\lg n_e \geq 6$. В зоне [O II] $\lg T_e \geq 4$ и $\lg n_e = 1,2 - 4,5$. При этом, условия для разных объектов в зонах [O III] очень близки. Различия в физических условиях для зоны [O II] намного больше. Следовательно в зонах [O II] различных галактик имеется значительно больший диапазон значений температуры и плотности, определяющих относительную интенсивность эмиссионных линий. Отсюда следует и больший диапазон самых относительных интенсивностей. Эти результаты качественно согласуются с тем фактом, что зависимость от показателя цвета относительных интенсивностей эмиссионных линий [O II], [N II], [S II] заметно сильнее, чем аналогичная зависимость для линий [O III].

Другим следствием является то, что стратификация излучения существует в сильной степени и что определение физических условий в зонах, излучающих запрещенные линии, по пересечению кривых для ионов O^{++} , N^+ и S^+ может быть ошибочно в тех случаях, когда нет дополнительных соображений относительно сосуществования этих двух зон.

Чтобы сравнить полученные нами результаты с результатами, полученными ранее другими авторами, мы приводим краткую сводку данных о физических условиях в ядрах сейфертовских галактик обоих типов, радиогалактик и N -галактик. Данные представлены в таблице 16. Хотя методика определения электронных температур и плотностей немного отличается в разных случаях, данные в среднем согласуются между собой. Для сейфертовских галактик типа NGC 4151 электронные плотности $n \geq 10^6$ отмечаются у NGC 4051 и 7469, а также у NGC 1275, принадлежность которой к какому-нибудь типу спорна. Для NGC 5548 n , полученная Либаем, Есиповым и Проником (1967) довольно неопределенна и может быть от 10^4 до 10^6

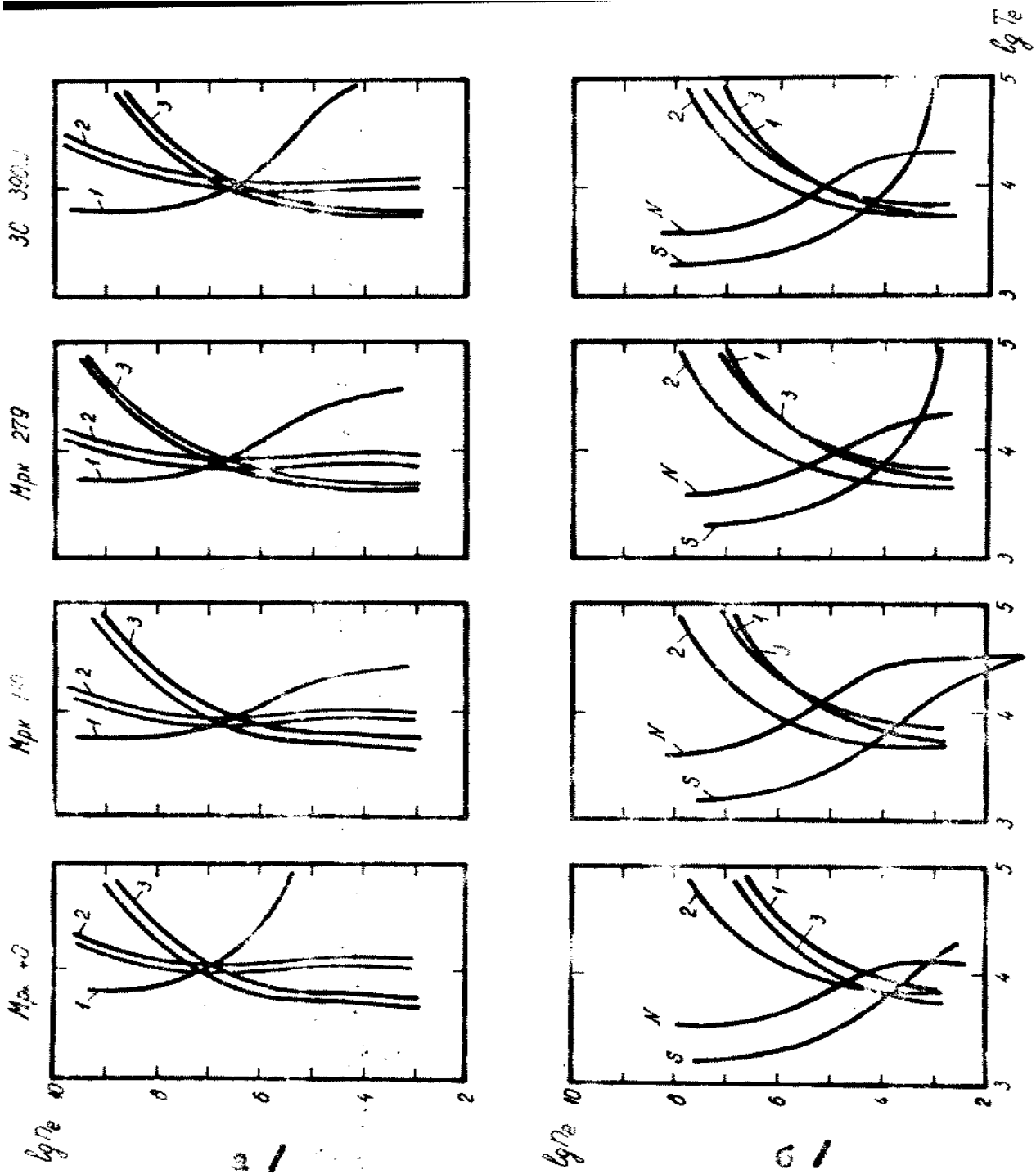


Рис. 16 - Определение электронных температур и электронных плотностей в ядрах сейфертовских галактик типа NGC 1151 методом Ситона (1964).

а / для зон [O III] - 1 - $I_{\lambda 4363} / I_{\lambda(4959 + 5007)}$, 2 - $I_{\lambda 4365}$, 3 - $I_{\lambda(4959 + 5007)}$.

б / для зон [O II] - N и S - кривые разлик соотношений для линий азота и серы соответственно, 1 - $I_{\lambda 3727}$ [O II], 2 - $I_{\lambda 3717}$, 6731 [S II] и 3 - $I_{\lambda 6513}$, 6581 [N II].

Для подробности см. рис. и текст.

Таблица 15 - продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Мрп 504	3,88	6,50	3,81	6,60				
506	3,92	6,30	3,83	6,40	4,00	2,50	2,50	2,85
509								3,20
541	3,96	7,20	3,88	7,40				
590	4,00	6,95	3,96	7,10	3,96	3,15	3,17	
Мрп 618	3,83	6,40	3,84	6,50	3,92	3,40	3,44	3,50
ИГС 3227	3,96	6,00	3,92	6,20				3,12
3516	3,83	6,70	3,84	6,80	4,16	3,60	3,52	2,76
5548	4,00	6,70	3,84	6,80	4,36	3,30	3,12	3,08
ИГС 7439	3,90	6,60	3,83	6,70				3,22
I Zw 1	3,92	6,70	3,83	6,80				
II Zw 1	3,92	6,10	3,90	6,20	3,88	2,40	2,96	3,20
II Zw 186								
III Zw 2	3,84	6,40	3,80	6,50	4,64	3,20	2,98	3,03
30 120	3,96	6,30	3,92	6,45				3,22
30 227	3,96	6,70	3,92	6,80	3,40	3,40	3,20	2,38
30 332	3,92	7,00	3,88	7,10				3,28
30 390.3	4,00	6,60	3,92	6,70	4,13	3,90		
30 415	4,40	6,30	4,00	6,30	4,00	2,50	2,50	2,82

Таблица 13

Физические условия в ядрах сейфертовских галактик

Объект	Зона [O III]			Зона [O II]				
	ист.	T_e [K]	n_e [см ⁻³]	ист.	T_e [K]	n_e [см ⁻³]		
NGC 1068	1	17000	10^3	3	10 - 20000	10^3		
	2	10200	$4 \times 10^3 - 2 \times 10^5$	2	8 - 10000	4×10^3		
NGC 1275	4	13000	10^6	3	10 - 20000	10^3		
	5		$3 \times 10^6 - 10^{10} \times 10^6$	5	12000	4×10^3		
NGC 3227	6	19000	10^4	6	11000	200-300		
	7	16000		7	12000	10^3		
NGC 3516				7	15000	10^3		
NGC 4051	7	16000	5×10^6	7	12000	3×10^3		
NGC 4151	8	Одна зона с $T_e = 2 \times 10^4$ и $n_e = 4 \times 10^3$						
	9						14000	2×10^2
	10						/13000/	5000
NGC 5548	11	14000	3×10^5					
NGC 7469	7	14000	5×10^6					
	4	4×10^4	$2,5 \times 10^5$					
Мрк 79	8	$3 - 3,5 \times 10^4$	$2,5 \times 10^5$	8	10^4	$2,5 - 3 \times 10^4$		
ЭС 120	12	26000	/10 ⁵ /	12	/26000/	1500		
N-галакт.	13	10-12000	$5 \times 10^5 - 5 \times 10^6$					
СГ типа 1	14	/10 ⁴ /	10^6	14	/10 ⁴ /	10^3		
СГ типа 2	14	/12000/	10^5	14	10-20000	10^3		
Радиогал.	15	10^4	$10^6 - 10^7$					

Примечание к таблице 16: Значения n_e и T_e , заключенные в скобках, являются величинами, принятыми авторами. При этом получались приведенные в соседних столбцах значения n_e и T_e соответственно. 1 - Дибай и Проник (1965), 2 - Остерброк и Паркер (1965), 3 - Бамплер (1971), 4 - Андерсон (1970), 5 - Дибай и Проник (1966), 6 - Рубин и Форд (1968), 7 - Дибай и Проник (1967), 8 - Линкулова (1974), 9 - В. Вельямиков и Дибай (1968), 10 - Оук и Сарджент (1963), 11 - Дибай и др. (1967), 12 - Шиндлс и др. (1972), 13 - Смит и др. (1976), 14 - Нойгебауер и др. (1976), 15 - Остерброк и др. (1976).

см^{-3} . Авторы приводят значение $3 \times 10^5 \text{ см}^{-3}$.

Для трех \mathcal{N} - галактик Смит и др. (1976) отмечают, что при нормальном химическом составе $n_e \approx 5 \times 10^5 \text{ см}^{-3}$ для галактик IKS 0353 + 027 и 3C 467 и $n_e \approx 10^6 \text{ см}^{-3}$ для 3C 411.

Спектрофотометрия 18 маркаръяновских галактик привела Нойгебауэра и др. (1976) к выводу, что у сейфертовских галактик типа NGC 4151 существуют три зоны - плотная (водородная) зона с $n_e \approx 10^8 \text{ см}^{-3}$ (ранее принимались значения $n_e \approx 10^7 \text{ см}^{-3}$), зона [O III] с $n_e \approx 10^6 \text{ см}^{-3}$ и $T_e \sim 10^4 \text{ К}$ и зона [O II] с $n_e \approx 10^3 \text{ см}^{-3}$ и $T_e \sim 10^4 \text{ К}$. Что касается сейфертовских галактик типа NGC 1068, то, как показано теми же авторами, плотная зона отсутствует.

Как отмечают Остерброк и др. (1976), электронные плотности и температуры в зонах [O III] четырех радиогалактик с широкими линиями порядка $T_e \sim 10^4 \text{ К}$ и $n_e = 10^6 - 10^7 \text{ см}^{-3}$. Кроме того, указанные авторы отмечают, что для галактик 3C 382 и 3C 390.3 нет конечных температур, которые соответствовали бы наблюдаемому отношению линий [O III] при $n_e \approx 10^5 \text{ см}^{-3}$.

Таким образом, полученные нами результаты в принципе не противоречат результатам, полученным ранее другими авторами. С другой стороны, как уже отмечалось, они согласуются с интерпретацией зависимостей между интенсивностями линий и показателем цвета

§ 4. СОДЕРЖАНИЕ ИОНОВ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ИЗУЧАЮЩЕГО ГАЗА В ЯДРАХ СЕЙФЕРТОВСКИХ ГАЛАКТИК ТИПА NGC 4151 И РАДИО- ГАЛАКТИК С ШИРОКИМИ ЛИНИЯМИ.

На основе относительных интенсивностей эмиссионных линий для сейфертовских галактик типа NGC 4151, приведенных Остерброком (1977), и для радиогалактик с широкими линиями, приведенных Остерброком (1977) и Гранди и Остерброком (1978), применяя мето-

нику, изложенную в параграфе 2 второй главы, мы определили относительные содержания ионов O^0 , O^+ , O^{++} , N^+ , S^+ , Ne^+ и Ne^{++} по отношению к ионам водорода H^+ и полное содержание элементов Ne, N и O . Относительные интенсивности были исправлены за покраснения света в Галактике по формуле (Архипова 1970)

$$I_o = I_{\text{набл}} + Cx f(\lambda).$$

Функция $f(\lambda)$, представляющая закон межзвездного поглощения света Уитфорда (1958), бралась из работы Калера и др. (1976). Она незначительно отличается от таблицы, приведенной Ситоном (1960). Поглощение C определялось по бальмеровскому декременту для $T_e = 10^4$ К и $n_e = 10^4 \text{ см}^{-3}$ (зависимость от n_e слабая) согласно Броклехарсту (1971). Электронная температура определялась по линиям [O III] $\lambda\lambda 4363, 4959, 5007$. Уравнение, связывающее относительные интенсивности небулярных и авроральных линий, решалось графическим методом при помощи данных, приведенных Боярчуком и др. (1969). Уравнение решалось при $n_e = 5,5; 6,0$ и $6,5$. Соответствующие средние значения логарифмов электронных температур и их дисперсии приведены в таблице 17.

Таблица 17

Средние значения электронных температур для сейфертовских галактик типа *NGC 4151* и радиогалактик с широкими линиями

$\lg n_e$	Р Г Ш Л			С Г типа <i>NGC 4151</i>		
	n	$\lg T_e$	σ	n	$\lg T_e$	σ
5,5	11	4,24	0,21	31	4,26	0,14
6,0	13	4,12	0,20	34	4,10	0,14
6,5	13	3,96	0,13	34	3,94	0,09

Остерброк (1977) указывает, что для этих же объектов $T_e = 10^4$

— 13000 К для $n_e = 10^5 - 10^6 \text{ см}^{-3}$.

В таблицах I8 и I9 для 36 сейфертовских галактик типа *NGC* 4151 и I5 радиогалактик с широкими линиями соответственно представлены логарифмы чисел ионов и атомов в галактиках, перечисленных в первых столбцах таблиц в предположении, что число водородных атомов равно 10^{12} . Значение электронной температуры на основании данных таблицы I7 было при этом принято равным 10^4 К.

§ 5. ФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, СОДЕРЖАНИЕ ИОНОВ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ИЗЛУЧАЮЩЕГО ГАЗА В ЯДРАХ СЕЙФЕРТОВСКИХ ГАЛАКТИК ТИПА *NGC* 1068 И РАДИОГАЛАКТИК С УЗКИМИ ЛИНИЯМИ.

В настоящем параграфе приведены данные, аналогичные данным предыдущего параграфа, относительно 23 сейфертовских галактик типа *NGC* 1068 и I6 радиогалактик с узкими линиями. Результаты спектрофотометрии для этих галактик приведены Коски (1978), Костеро и Остерброком (1977), Пенстоном и Фосбури (1978) и Остерброком и Коски (1975).

Коски (1978) приводит средние плотности и температуры для 34 сейфертовских галактик типа *NGC* 1068 и радиогалактик с узкими линиями. Электронные плотности определялись им по относительным интенсивностям линий ионизованной серы $[S II]$ $\lambda\lambda 6717, 6731$ и использовались для определения электронных температур по линиям дважды ионизованного кислорода $[O III]$ $\lambda\lambda 4363, 4959, 5007$. Полученные средние значения для n_e и T_e таковы:

$$\begin{aligned} \langle \lg n_e \rangle &= 2,80 & \sigma(\lg n_e) &= 1,13 & n &= 34 \\ \langle \lg T_e \rangle &= 4,25 & \sigma(\lg T_e) &= 0,20 & n &= 28 \end{aligned}$$

Нам представляется, что столь низкие значения n_e и столь

высокие значения T_e являются результатами того, что Коски игнорирует стратификацию излучения, хотя и отмечает существование двух зон ионизации. Поэтому приведенные Коски температуры, по-видимому, надо рассматривать как верхние границы.

Для иллюстрации мы вычислили N_e и T_e с учетом стратификации излучения. Используя данные, приведенные Коски, мы определили электронные плотности и температуры отдельно для зон [O II] и [O III]. Эти параметры для зоны [O II] определялись по линиям [N II] $\lambda\lambda 5755, 6548, 6584$ [S II] $\lambda\lambda 4068, 4086, 6717, 6731$. Относительные интенсивности перечисленных линий приведены для девяти галактик, для которых получены средние значения N_e и T_e :

$$\lg T_e = 3,92 \quad \sigma(\lg T_e) = 0,23 \quad \lg N_e = 4,38 \quad \sigma(\lg N_e) = 0,51$$

Если же игнорируется стратификация излучения, то электронная температура получается значительно выше. Действительно, по линиям [S II] $\lambda\lambda 4068, 4086, 6717, 6731$ и [O III] $\lambda\lambda 4363, 4959, 5007$ получается $\langle \lg T_e \rangle = 4,27$ $\sigma(\lg T_e) = 0,16$; $\langle \lg N_e \rangle = 3,84$ и $\sigma(\lg N_e) = 0,37$ для 22 галактик. (линии равных отношений для ионов N^+ и O^{++} не пересекаются). Как видно, и применение другого метода в случае игнорирования стратификацией излучения приводит электронным температурам, совпадающим со значением полученным Коски.

Поскольку данные о линии неона [Ne III] $\lambda 3343$ не приводятся, то однозначное определение N_e и T_e для зоны [O III] невозможно. Электронные температуры определялись как и в предыдущем параграфе по отношению линий [O III] $\lambda\lambda 4363, 4959, 5007$ для трех значений электронных плотностей: $\lg N_e = 5,5, 6,0$ и $6,5$. Соответствующие средние значения электронной температуры по 35 объектам следующие $\lg T_e = 4,14, 4,00$ и $3,88$. Сравнение этих чисел с данными таблицы I7 предыдущего параграфа показывают, что значения

электронных температур в сейфертовских галактиках типа *NGC 1068* и радиогалактиках с узкими линиями совпадают с их значениями в сейфертовских галактиках типа *NGC 4151* в случаях, когда электронные плотности в объектах типа *NGC 1068* примерно на полпорядка ниже, чем в объектах типа *NGC 4151*. Это качественно согласуется с результатами Нойгебауера и др. (1976), а также с результатом, полученным Аракеляном (1977) по характеру зависимости интенсивностей линий от показателя цвета $U - B$. Следует отметить, что отношение $I_{\lambda 4363} / (I_{\lambda 4959} + I_{\lambda 5007})$ во всех случаях равно или больше 0,008 - т.е. для $\lg T_e = 4,00$ всегда $\lg n_e \geq 5,00$. На основании сказанного содержание ионов и атомов определялось нами при $T_e = 10^4$ К. Данные для 37 объектов приведены в таблице 20, которая содержит логарифмы чисел ионов и атомов для галактик, перечисленных в первом столбце. Как обычно, число водородных атомов принималось равным 10^{12} . Радиогалактики с узкими линиями отделены в конце таблицы после галактики Mrk 42.

На основании полученных результатов можно заключить, что:

1. Сейфертовские галактики типа *NGC 4151* имеют в среднем относительное содержание гелия в полтора раза большее, чем сейфертовские галактики типа *NGC 1068* и радиогалактики с узкими линиями и примерно в 3 раза большее, чем радиогалактики с широкими линиями.
2. Сейфертовские галактики типа *NGC 4151* и радиогалактики с широкими линиями содержат примерно на порядок меньше азота и в пять-восемь раз меньше кислорода, чем сейфертовские галактики типа *NGC 1068* или радиогалактики с узкими линиями.
3. Содержание серы у сейфертовских галактиках типа *NGC 4151* и радиогалактиках с широкими линиями примерно на порядок меньше,

Таблица 18

Содержание ионов и атомов в ядрах сейфертовских галактик типа:

NGC4151 * , **

Объекты	O°	O^{+}	O^{++}	N^{+}	S^{+}	He^{+}	He^{++}	He	N	O	$\frac{1686}{H\beta}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Mrk 10	6,35	6,60	7,46	6,22	5,43	11,11	10,64	11,24	7,14	7,50	0,44
40	6,98	7,30	7,34	6,30	5,58	11,30	10,34	11,34	6,63	7,51	
69		7,04	7,13	6,85	5,82	11,18	10,62	11,23	7,20	7,30	
* 79	6,32	6,62	7,10	6,14	5,40	11,11	10,15	11,15	6,74	7,30	0,44
106		6,43	6,96	5,95		10,85	10,45	11,00	6,59	7,11	
110	6,43	7,94	7,22	5,96	5,51	10,78	10,30	10,91	6,03	6,02	0,10
124		7,33	7,29			10,72	10,41	10,89		7,61	
141		6,48	7,08	6,74	5,78	10,79	10,26	10,95	7,44	7,18	
142		6,43	6,90	5,70	4,76	11,27	10,57	11,34	7,30	7,02	
236	7,60	6,68	7,15	6,00	5,65	11,15	10,58	11,26	6,59	7,77	
* 279	6,55	6,72	6,80	6,22	5,38	11,02	10,20	11,08	6,56	7,18	
290	6,42	6,38	7,29	5,83	5,20	11,08	10,20	11,13	6,78	7,39	
291	6,97	7,44	7,47	7,03	6,10	11,04	10,96	11,30	7,35	7,82	
304	5,48	5,79	6,32	5,59	4,71	11,04	10,18	11,10	6,21	6,43	0,15
335		5,59	6,86			11,08	10,52	11,18		6,89	0,33
352		5,43	6,54			11,04	10,64	11,19		6,58	0,44
358	6,79	6,59	7,13	6,37	5,90	10,84	10,77	11,11	7,03	7,37	
374			7,12	5,59	5,22	11,21	10,46	11,28			0,29
376			6,64	6,30	4,87	10,98					
382		6,51	7,42	6,59	6,40	11,08	10,81	11,26	7,55	7,47	0,65
478		6,76	6,88			10,72				7,13	
486			6,32			10,87	10,30	10,97			
504			6,90			11,10	10,62	11,23			
* 506	6,66	6,91	7,36	6,43	5,67	11,23	10,48	11,30	6,90	7,55	
Mrk 509		6,17	6,38			11,15	10,46	11,23		6,96	0,29

Таблица 18 - продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	4686/H β
Mrk 541		6,19	6,86	6,88		11,41	10,76	11,50	7,64	6,94	
590	7,05	6,90	7,22	6,53	5,58	11,04			7,02	7,55	
Mrk 618	6,43	6,65	7,13	6,93	6,18	11,20	10,62	11,30	7,54	7,32	
*NGC 3727	6,08	6,18	7,60	6,07	5,14	11,26	10,72	11,36	7,51	7,67	
3516		6,97	7,21			11,15	10,38	11,20		7,41	
* 5542	6,57	6,83	7,38	5,97	5,23	10,62	9,32	10,64	6,64	7,54	
*NGC 7469		6,96	7,21			11,08	10,40	11,16		7,40	0.25
I Zw 1			7,12			10,95					
II Zw 1	6,69	6,93	7,58	6,80	5,96	11,08	10,66	11,23	7,54	7,71	
II Zw 136		6,24	7,03			11,38	10,15	11,40		7,09	0.14
III Zw 2	6,35	6,41	7,00	5,76	5,26	10,95	9,84	10,98	6,44	7,17	0.07

Таблица 19

Содержание ионов и атомов в ядрах радиогалактик с широкими ЛИНИЯМИ										
Объекты	O ⁰	O ⁺	O ⁺⁺	N ⁺	S ⁺	He ⁺	He ⁺⁺	He	N	O
3C 120	6,32	6,56	7,43	6,14	6,19	11,08	10,36	11,50	7,07	7,52
227	6,63	6,83	7,40	7,96	7,02	10,72	10,40	10,90	8,64	8,66
234	6,02	7,88	8,46	6,52	5,82	10,48	10,40	10,78	7,20	8,60
237.1	6,40	8,14	7,93	6,43	5,79				6,45	9,17
332	6,29	9,04	8,44	6,56	5,64		10,66		6,66	9,14
381	6,04	8,52	8,76	7,56	6,74		10,64		8,00	9,01
382	6,08	6,35	6,78	4,83	4,90	10,91	9,60	10,95	6,30	6,95
390.3	6,69	6,97	7,46	5,85	5,05	10,98	9,30	11,00	6,46	7,63
3C 345	6,77	6,86	7,90	6,00	5,36	10,57			7,56	7,94
353+027			7,77				9,95			
4-17 -19	5,75	6,90	7,81	6,68	5,65	10,48	9,70	10,54	7,64	7,86
2349 -01	4,78	6,76	7,07	6,23	5,27	10,69			6,76	7,26

Таблица 19 - продолжение

Объекты	O°	O^{+}	O^{++}	N^{+}	S^{+}	He^{+}	He^{++}	He	N	O
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4C 29.06	6,17	7,30	7,72	6,61	5,81	10,11	9,66	10,26	7,10	7,81
4C 35.37		6,92	7,23							7,45
IV 29	6,05	7,34	7,61	6,69	5,74				7,15	7,61

Таблица 20

Содержание ионов и атомов в ядрах сейфертовских галактик типа
1068 и радиогалактик с узкими линиями *

Объекты	O°	O^{+}	O^{++}	N^{+}	S^{+}	He^{+}	He^{++}	He	N	O
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
* Мрк 176	7,74	8,14	8,66	7,67	6,68	10,87	10,63	11,04	8,31	8,81
* Мрк 3	7,99	8,13	8,60	7,70	6,83	10,79	10,26	10,90	8,30	8,80
* NGC1 068	7,72	7,67	8,59	7,86	6,55	11,04	10,61	11,18	8,33	8,69
Мрк 573	7,63	8,05	8,58	7,59	6,83	10,87	10,56	11,04	8,23	8,73
* 78	7,63	8,23	8,58	7,56	6,75	10,87	10,54	11,04	8,04	8,79
* 348	8,17	8,24	8,57	7,56	7,01	10,95	10,34	11,04	8,06	8,84
* 34	7,67	8,12	8,56	7,54	6,85	10,95	10,45	11,08	8,11	8,73
* 1	7,97	8,03	8,54	7,54	6,64	10,87	10,48	11,00	8,17	8,74
* Мрк 270	8,05	8,34	8,44	7,66	7,06	11,15	10,34	11,20	8,02	8,70
* III Zw 55	7,89	8,09	8,34	7,79	6,79	10,82	10,30	10,90	8,23	8,62
* Мрк 198	7,71	7,79	8,24	7,55	6,84	10,91	9,85	10,95	8,00	8,51
* 268	8,03	8,16	8,18	7,89	7,01	10,85	9,90	10,90	8,20	8,61
* Мрк 273	7,79	8,50	8,15	7,62	6,80	10,82	10,52	10,85	7,78	8,72
I Zw 81	7,46		7,95	7,43	6,60	11,28				
Мрк 298	7,74	8,24	7,78	7,04	6,71	10,87			7,16	8,46
507	7,03	7,59	7,36	7,34	6,18	10,68			7,54	7,86
Мрк 700	7,66	7,69	7,23	7,91	6,72	10,43			8,03	8,05

* Витт Задл. нум табл. 18.

Таблица 20 - продолжение

 He^+ He^{++} He

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
*NGC 6764	7,29	7,97	7,18	7,49	6,64	10,91	9,78	10,95	7,56	8,11
Mrk 378	7,09		7,15	7,32	6,58	11,15				
* 6	7,83	8,02	8,46	8,40	6,78	11,00			7,98	8,67
315	7,35	7,93	7,91	7,42	6,50	11,32			7,71	8,27
372	8,18	8,21	8,50	7,80	7,10	11,49			8,27	8,79
*Mrk 42	6,76	7,00	7,11	6,97	5,85	10,87			7,32	7,46
*3C 33	7,97	8,28	8,60	7,44	6,84	10,85	10,41	11,00	7,93	8,34
* 184,1	7,48	7,93	8,53	7,00	6,41	11,00	10,43	11,11	7,70	8,66
433	7,98	8,38	8,47	7,91	7,07	11,36			8,26	8,80
*3C 452	8,20	8,27	8,34	7,75	6,91	11,11	9,78	11,15	8,09	8,75
503.100	7,18	7,57	7,26	7,25	6,18	10,91			7,41	7,85
*3C 33	8,11	6,22	8,68	7,60	7,15		10,50		8,18	8,89
98	8,17	8,38	8,69	7,66	7,01	11,40	10,48	11,45	8,12	8,94
178	7,10	8,76	7,26	7,41	6,53	10,84	10,00	10,90	7,53	7,94
192	7,79	8,26	8,41	7,56	6,94	11,15	10,20	11,20	7,94	8,70
327	7,70	8,01	8,63	7,53	6,72	10,98	10,50	11,11	8,28	8,76
327	7,59	7,82	8,77	7,43	6,82	10,87	10,60	11,04	8,43	8,84
334-63	8,38	8,54	8,43	7,53	6,72	10,91			7,83	8,95
2325-12	8,07	8,44	7,30	7,54	7,08	10,72	9,78	10,78	7,57	8,62
NGC 1052	8,32	8,57	7,84	7,68	7,12				7,75	8,81
NGC 5506	7,85	8,45	8,36	7,65	7,06	10,87	10,23	10,93	7,90	8,76
CyG A	8,28	8,23	8,18	7,94		10,76	10,38	10,90	8,22	8,70

Примечание: Для радиогалактики 3C 33 содержание ионов и атомов определялось по относительным интенсивностям линий, приведенным Боски (1978) и Костеро и Остерброком (1977), а для радиогалактики 3C 327 - Костеро и Остерброком (1977) и Пенстоном и Фосбури (1978).

* - 25 лет от табл. 18, 19 и 20 с выносами (от общего 90 объектов) в Динр. работа на И. Верникова - табл. 2, Там же есть да с выносами от табл. 18, 19 и 20 с выносами (от общего 90 объектов)

чем в сейфертовских галактиках типа *NGC* 1068 или радиогалактиках с узкими линиями. Для последних относительное содержание серы примерно таково, как в звездах или в туманности Ориона.

4. Возможно, что низкое отношение $[O III] / H\beta$ в сейфертовских галактиках типа *NGC* 4151 является следствием пониженного содержания кислорода, по сравнению с сейфертовскими галактиками типа *NGC* 1068 или радиогалактиками.

5. По содержанию ионов и атомов сейфертовские галактики типа *NGC* 1068 и радиогалактики с узкими линиями неотличимы друг от друга. Коски (1978) отмечает, что эти два типа галактики по своим спектральным характеристикам образуют одну группу. Наши вычисления этому выводу не противоречат.

Приведенные результаты получены в предположении, что все рассмотренные линии в каждой галактике образуются в том же объеме. Если это предположение далеко от правильности, то и применение использованной методики лишено смысла. Однако, близость потенциалов ионизации ионов, линии которых выше рассмотрены, позволяет полагать, что полученные значения параметров близки к их истинным значениям.

Особого рассмотрения заслуживает содержание ионов азота N^+ и, соответственно, относительная интенсивность линии $[N II]\lambda$ 6584. Как отмечалось, поведение этой линии специально обсуждалось Бэрбиджем и др. (1963) и Морганом и Остербррком (1969). С другой стороны Аллоэн и др. (1975) обнаружили корреляцию относительной интенсивности линий $[N II]\lambda$ 6584 и $H\alpha$ в ядрах спиральных галактик с мощностью их радиоизлучения, причем радиосветимость возрастает с относительной интенсивностью линии азота. В связи с этим в таблице 21 мы приводим относительную интенсивность

этих линий для всех рассмотренных групп галактик.

Таблица 2I

Среднее отношение $[N II] \lambda 6584 / H\alpha$ для галактик
разного типа

Объекты	$\langle \frac{6584}{H\alpha} \rangle$	σ	n
Яркие галактики	1,06	0,71	10
Сейфертовские галактики типа <i>NGC 1068</i> и радиогалактики с узкими линиями	0,84	0,47	37
Галактики высокой поверхностной яркости	0,55	0,25	8
Галактики Маркаряна	0,55	0,26	28
Сейфертовские галактики типа <i>NGC 4151</i>	0,07	0,06	27
Радиогалактики с широкими линиями	0,04	0,04	12

Как видели, сейфертовские галактики типа *NGC 1068* и радиогалактики с узкими линиями содержат на порядок больше азота по сравнению с сейфертовскими галактиками типа *NGC 4151* и радиогалактиками с широкими линиями. У последних значение $[N II] / H\alpha$ очень низко. Из наших данных следует, что высокая активность (сейфертовские характеристики ядер) коррелирует с отношением $[N II] / H\alpha$ в том смысле, что активность больше при наибольших отклонениях значений $[N II] / H\alpha$ от значения, соответствующего областям $H II$. То же самое наблюдается и для активности в радиодиапазоне. — Как радиогалактики с узкими линиями, так и радиогалактики с широкими линиями отличаются аномальными для диффузных туманностей относительными интенсивностями линии $[N II] \lambda 6584$. Если радиогалактики с узкими линиями показывают ту же тенденцию, что и тенденция, обнаруженная Аллоеном и др. (1975), то радиогалактики с широкими линиями отличаются от них тем, что имеют

лактики с широкими линиями проявляют противоположную тенденцию. При этом обе группы радиогалактик содержат объекты с одинаковыми радиосветимостями. Действительно, в работе Груеффа и Виготти (1977) приведены мощности радиоизлучения на частоте 408 МГц для примерно половины радиогалактик с узкими и широкими линиями, рассмотренных нами. Для радиогалактик с широкими и с узкими линиями соответственно имеем:

$$\begin{array}{ll} \langle \lg P \rangle = 26,13 & \langle \lg P \rangle = 26,14 \\ \sigma(\lg P) = 0,48 & \sigma(\lg P) = 0,47 \end{array}$$

Таким образом, можно полагать, что результаты Аллоэна и др. отражают рассматриваемую зависимость в интервале меньших радиосветимостей, соответствующих спиральным галактикам. Рассмотрение интервала очень высоких радиосветимостей на основании данных о спиральных галактиках практически невозможно, так как радиогалактики являются преимущественно эллиптическими галактиками.

Не исключена также возможность, что с точки зрения рассматриваемого вопроса поведение спиральных галактик отличается от поведения эллиптических.

Г Л А В А I V

СРАВНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ТУМАННОСТЯХ, ЯДРАХ НОРМАЛЬНЫХ ГАЛАКТИК, И ПЕКУЛЯРНЫХ ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ

§ I. ФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И СОДЕРЖАНИЕ НЕКОТОРЫХ ИОНОВ В ДИФФУЗНЫХ ТУМАННОСТЯХ

Химический состав внегалактических объектов лучше всего иллюстрируется сравнением с межзвездной средой, а конкретнее, с химическим составом эмиссионных диффузных туманностей, Аллер (1961) следующим образом представляет преимущества и недостатки метода определения химического состава по эмиссионному спектру газовых туманностей:

а/ преимущества сводятся к следующему:

По-видимому, диффузные туманности химически однородны, поскольку газовое и лучистое давление постоянно перемешивают излучающий газ.

Практически все части туманности доступны наблюдениям.

Хотя и есть отклонения от термодинамического равновесия, физические процессы, ответственные за появление эмиссионного спектра хорошо известны и поддаются точным теоретическим расчетам.

б/ к недостаткам такого подхода относятся:

Обычно наблюдаются только линии самых распространенных элементов.

Данный элемент обычно наблюдается только в несколько стадиях ионизации, хотя на самом деле возможно и вероятно, что в других стадиях ионизации элемент тоже излучает, но по каким-то причинам эти линии не наблюдаются.

В большинстве туманностей существуют сгустки, облаков, - т.е. неоднородности температуры и плотности. Часто наблюдается

стратификация – во внутренних частях туманности возбуждение больше.

Известно, что диффузные туманности – это огромные газопылевые комплексы, связанными с молодыми, горячими звездами. Они являются представителями первого типа населения Галактики. По сравнению с планетарными туманностями, для которых самыми сильными линиями являются линии [O III] $\lambda\lambda$ 4959, 5007 дважды ионизованного кислорода, диффузные туманности показывают более низкое возбуждение – обычно самая интенсивная линия в их спектрах это дублет [O II] λ 3727 ионизованного кислорода. Поскольку это объекты низкой поверхностной яркости, они изучены слабо – к настоящему времени получены спектрофотометрические данные примерно для 100 объектов нашей и ближайших галактик.

В каталоге Калера (1976) приведены относительные интенсивности эмиссионных линий для 117 диффузных туманностей нашей и ближайших галактик. Из этого списка выбраны 96 объектов, которые показывают достаточное количество линий (Янкулова, Петров, Голев 1979). Для большинства объектов приводятся данные из нескольких источников. По возможности мы старались использовать те данные, относящиеся к центральным областям туманностей. Поскольку материал очень неоднороден и неполон, мы вынуждены определять некоторые средние температуры и давления. Применением уравнения (Видман 1968)

$$r = \frac{I_{6717}}{I_{6731}} = 1,5 \frac{1 + 0,51x}{1 + 1,98x}, \quad x = 10^{-2} n_e T_e^{-1/2}$$

Для $T_e = 10000$ К по 43 объектам было получено $\langle \log n_e \rangle = 2,90$
 $\sigma(\log n_e) = 0,39$. Для 12 объектов, для которых дублет [O II] $\lambda\lambda$ 3726, 3729 разрешен, по уравнению

$$\rho = \frac{13726}{13729} = 1,5 \frac{1+0,33\epsilon + 0,23\gamma (1+0,75\epsilon + 0,14\epsilon^2)}{1+0,40\epsilon + 0,099\gamma (1+0,84\epsilon + 0,17\epsilon^2)}$$

где $\epsilon = e^{-\frac{19600}{T_e}}$, $\gamma = n_e T_e^{-1/2}$ (Ситон и Остерброк 1957) для $T_e = 10000$ К было получено $\langle \lg n_e \rangle = 2,86$ и $\sigma(\lg n_e) = 0,27$. Хорошее совпадение этих результатов можно рассматривать как указание на то, что ионы O^+ и S^+ светятся в одной и той же зоне [OII]

Из-за отсутствия данных об интенсивностях линии [Ne III] у нас не было возможности определять однозначно n_e и T_e для зон [O III] (см. главу II), но среднее отношение $[O III] I_{\lambda 4363} / (I_{\lambda 4959} + I_{\lambda 5007}) = 0,016$ указывает на то, что $\lg T_e = 4,00$ имеет место при $\lg n_e = 5,5$.

Первым, кто занимался химическим составом внегалактической диффузной туманности, был Джонсон (1959), определивший относительное содержание гелия и водорода в туманности 30 Dor.

Определением содержания ионов и химического состава галактических и внегалактических диффузных туманностей занимались также Пеймберт и Торес-Пеймберт (1974), Пеймберт и Спинрад (1970) Смит (1975), Дюфур и Харлоу (1977), Пеймберт и Торес-Пеймберт (1976, 1977). Исчерпывающий обзор проблемы дан Пеймбертом (1975).

Применяя методику, изложенную в главе II, мы определили содержания ионов Ne^+ , N^+ , O^+ и S^+ для 96 объектов. Данные приведены в таблице 22, которая содержит логарифмы чисел ионов для объектов, перечисленных в первом столбце в предположении, что $T_e = 10000$ К и $\lg N = 12,00$.

Следует отметить, что поскольку нами применена методика, предложенная Пеймбертом (1968), то естественно, что в среднем

Таблица 22

Содержание некоторых ионов в диффузных туманностях

Объект	He ⁺	N ⁺	O ⁺	S ⁺	Объект	He ⁺	N ⁺	O ⁺	S ⁺
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
<i>NGC</i> 281		7,04	7,86	6,04	IC 1470	11,44	7,04	8,10	
1499		7,16	7,79	6,33	3148		7,71		6,10
1931		7,18			2177		7,14	8,33	6,47
2023		7,02			IC 4628		6,70		
2024	10,64	6,99			E 1		7,99	7,77	
2068		7,03			HN 1		7,21	7,74	6,32
2175		7,02	9,46	6,88	S 61		7,05	8,30	
2237	11,05	7,77	8,17	6,37	71		7,69	7,99	
2264		7,19	8,11	6,28	100		6,78	8,03	
2359		6,97			148		7,33	8,31	
3576	10,85	7,02	8,06	6,20	152		7,40	8,31	
6193		7,55		6,13	163		7,20		6,13
6357	10,87	7,67	7,52	5,95	175		7,20		6,54
6514		7,65			186		7,24		6,42
6523	11,20	7,37	7,86	6,03	211		7,31		6,34
6559		7,06			212		6,63	7,90	
6611		7,37			255		6,91	8,00	
6613		7,69		6,11	257		7,35	7,97	
6888		7,62	8,93	6,90	264		6,98	7,97	6,34
7000		7,51	8,18	6,94	S 269		7,17	8,27	
<i>NGC</i> 7635	11,37	7,41	7,65		SH 160		7,14	7,99	6,30
IC 405		7,16	8,43	6,25	AN 15		7,12		6,09
432		7,09			1939		7,12		6,09
434		7,37			AN 2534		7,31		6,33
IC 1274		7,30			G 17		7,67		6,31

Таблица 22 - продолжение

	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
<i>D</i>	30	10,98	6,38	7,64		<i>CC</i>	49		7,09		6,27
<i>N</i>	4	10,92	6,26	8,02	5,78		55		6,99		5,88
	11		6,12	7,77	5,85		56		6,97		5,78
	44	10,91	6,02	7,76	5,87		58		6,99		5,93
	55	10,94	6,22	7,86	5,79		62		6,99		5,93
	59	10,94	6,14	7,79	5,79		66		7,18		6,19
	79	10,91	6,53	8,24	6,02		69		7,22		6,39
	105	10,99	6,68	8,18	6,26		87		7,07		6,03
	159	10,95	6,42	8,06	6,03		89		7,19		6,16
	160	10,97	6,33	7,70	5,81		92		7,44		6,46
<i>N</i>	214	10,86	6,33	8,11	6,01		93		7,22		6,21
<i>NS</i>	63	10,91	5,73	7,42	5,63	<i>CC</i>	94		7,03		6,96
<i>NS</i>	83	10,94	6,15	7,88	6,13	<i>M</i>	51		7,78	7,15	6,63
<i>NGC</i>	604		6,81	7,86	5,89		64		7,64		6,72
<i>CC</i>	16		7,03		6,03		81		8,03	7,11	6,03
	22		6,85		5,46	<i>M</i>	82	10,81	7,47	7,70	6,40
	27		7,07		6,05	<i>NGC</i>	5455	10,82		7,93	6,36
	29		7,18		6,16		5461	10,96	6,81	7,84	
	30		7,23		6,20	<i>NGC</i>	5471	10,88			6,00
	37		7,27		6,38	<i>HV</i>	5		6,15	8,24	6,17
	40		7,15		6,18	<i>Zw</i>	18	10,83		7,11	5,75
	43		7,15		6,29	<i>Zw</i>	40	10,88		7,28	6,22
<i>CC</i>	47		7,23		6,27						

полученные данные близки к средним по данным Неймбертом для примерно 15 объектов. Различия объясняются тем, что для туманностей Неймберт применяет другой вариант своей методики, — т.е. "метод температурных флюктуаций", для применения которого необходимы хотя бы два независимых значения температур.

§ 2. СРАВНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ЯДРАХ НОРМАЛЬНЫХ И ПЕКУЛЯРНЫХ ГАЛАКТИК И ДИФФУЗНЫХ ТУМАННОСТЯХ

В предыдущих параграфах оценены электронные плотности, а также определено содержание некоторых элементов в ядрах нормальных и пекулярных галактик и диффузных туманностях. Обращают на себя внимание сильные вариации относительной интенсивности линий $[N II] \lambda 6584$ при переходе от одной из рассмотренных групп объектов к другой. Соответствующие данные были приведены в таблице 2I.

Как мы видели, имеется широкий диапазон значений рассматриваемого отношения, причем сейфертовские галактики типов *NGC 1068* и *NGC 4151* занимают крайне противоположные положения по сравнению со значениями, характерными для областей $N II$ (см. таблицу 8). Галактики Маркаряна и галактики высокой поверхностной яркости с точки зрения рассматриваемого параметра являются наиболее близкими к областям $N II$, а сейфертовские галактики типа *NGC 1068* ближе всех к ярким (нормальным) галактикам.

Подобную картину можно понять, если принять во внимание, что в ядрах сейфертовских галактик типа *NGC 4151* и радиогалактик с широкими линиями имеются зоны $[O III]$ с электронной плотностью $n_e \approx 10^6 \text{ см}^{-3}$, а согласно Нойгебауэра и др. (1976) также и более плотные (водородные) зоны. Линии $[N II]$ (как и линии $[O II]$ и $[S II]$

в этих зонах не светятся, так как критическая плотность для этих линий порядка 10^4 см^{-3} , между тем, как водород в них светится. В результате мы наблюдаем линию $[N II]$, образующуюся лишь в зоне $[O II]$, и линию H_α , образующуюся как в зоне $[O II]$, так и в более плотных зонах. Малое значение отношения $[N II]/H_\alpha$ может, таким образом, быть в какой-то степени отражением относительного количества ^(вещества) в зонах $[O II]$ и $[O III]$.

Известно, что в ядрах сейфертовских галактик типа *NGC 1068* плотная зона отсутствует, а электронные плотности в зонах $[O III]$ примерно на порядок меньше плотностей в зонах $[O II]$ ядер сейфертовских галактик типа *NGC 4151* (см. напр. Нойгебауер и др. 1976). Между тем, плотности в зонах $[O II]$ близки для обоих типов галактик. Поскольку у галактик Маркаряна и галактик высокой поверхностной яркости, не относящихся к сейфертовскому типу, широкие крылья линий не наблюдаются, то вероятно у них плотная зона также отсутствует. В таком случае, если примем, что отношение $[N II]/H_\alpha$ является отражением массы вещества в зонах $[O II]$ и $[O III]$, то следует, что ядра нормальных галактик являются объектами с минимальными зонами $[O III]$, а галактики Маркаряна и галактики высокой поверхностной яркости — с промежуточными.

Обратимся теперь к результатам определения содержания ионов и атомов и их дисперсии, усредненные по 36 сейфертовским галактикам типа *NGC 4151*, 15 радиогалактикам с широкими линиями, 38 сейфертовским галактикам типа *NGC 1068* и радиогалактикам с узкими линиями, 36 сейфертовским туманностям нашей и ближайших галактик, 19 ярким галактикам (включены и галактики, перечисленные Аллоэном и др. (1976) и

Таблица 28

СРЕДНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ИОНОВ N АТОМОВ В ЭК СОСЛОВИЯХ СПЕКТРА

Объекты	$\overline{N^+}$	σ	n	$\overline{S^+}$	σ	n	$\overline{O^+}$	σ	n	$\overline{O^{++}}$	σ	n
СГ типа 1	6,27	0,44	25	5,51	0,44	23	6,63	0,52	31	7,09	0,23	33
РГШЛ	6,47	0,76	13	5,77	0,61	13	7,35	0,94	14	7,72	0,53	15
СГ 2+РГУИ	7,54	0,26	28	6,70	0,29	28	8,03	0,32	26	8,14	0,54	23
Мкс гал.	7,34	0,22	28	6,63	0,30	23						
Яркие гал.	7,63	0,26	10	6,72	0,33	8						
	7,71	0,34	20	6,76	0,26	17						
Ажн гал.	7,33	0,20	8	6,81	0,23	6						
ДТ в Гал.	7,26	0,29	50	6,37	0,23	26	8,12	0,39	27			
ДТ в М 33	7,11	0,14	22	6,15	0,29	22						
ДТ в М 0	6,25	0,24	13	5,91	0,18	12	7,83	0,23	13			
Обл.Н IIз	6,91	0,41	26	6,11	0,32	37						
Слив. гал.												
ПлТ в Гал.	6,58	0,84	37	5,37	0,63	23	8,02	0,57	37			

Объекты	$\overline{He^+}$	σ	n	\overline{He}	σ	n	\overline{N}	σ	n	\overline{O}	σ	n
СГ типа 1	11,05	0,19	36	11,17	0,18	32	6,97	0,47	23	7,33	0,33	31
РГШЛ	10,67	0,30	9	10,85	0,39	7	7,03	0,82	13	8,06	0,73	14
СГ 2+РГУИ	10,95	0,23	23	11,02	0,10	17	7,97	0,36	26	8,54	0,37	23
ДТ в Гал.	11,03	0,29	7									
ДТ в М 0	10,94	0,04	12									
ПлТ в Гал.	10,95	0,12	10	11,04	0,05	10	8,18	0,35	10	8,73	0,13	10
Солнце							7,93			8,77		
Звезды				11,21			8,50			8,95		

Примечание: Данные о содержании He^+ , He и O для ПлТ - согласно Неймберга и Торрес - Неймберг (1971), а для Солнца и звезд - согласно Аллера и Чизака (1968).

Таблица 28

СРЕДНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ИОНОВ N АТОМОВ В ЭК СОСЛОВИЯХ СПЕКТРА

Объекты	$\overline{N^+}$	σ	n	$\overline{S^+}$	σ	n	$\overline{O^+}$	σ	n	$\overline{O^{++}}$	σ	n
СГ типа 1	6,27	0,44	25	5,51	0,44	23	6,63	0,52	31	7,09	0,23	33
РГШЛ	6,47	0,76	13	5,77	0,61	13	7,35	0,94	14	7,72	0,53	15
СГ 2+РГУИ	7,54	0,26	28	6,70	0,29	28	8,03	0,32	26	8,14	0,54	23
Мкс гал.	7,34	0,22	28	6,63	0,30	23						
Яркие гал.	7,63	0,26	10	6,72	0,33	8						
	7,71	0,34	20	6,76	0,26	17						
Ажн гал.	7,33	0,20	8	6,81	0,23	6						
ДТ в Гал.	7,26	0,29	50	6,37	0,23	26	8,12	0,39	27			
ДТ в М 33	7,11	0,14	22	6,15	0,29	22						
ДТ в М 0	6,25	0,24	13	5,91	0,18	12	7,83	0,23	13			
Обл.Н IIз	6,91	0,41	36	6,11	0,32	37						
Слив. гал.												
ПлТ в Гал.	6,58	0,84	37	5,37	0,63	23	8,02	0,57	37			

Объекты	$\overline{He^+}$	σ	n	\overline{He}	σ	n	\overline{N}	σ	n	\overline{O}	σ	n
СГ типа 1	11,05	0,19	36	11,17	0,18	32	6,97	0,47	23	7,33	0,33	31
РГШЛ	10,67	0,30	9	10,85	0,39	7	7,03	0,82	13	8,06	0,73	14
СГ 2+РГУИ	10,95	0,23	23	11,02	0,10	17	7,97	0,36	26	8,54	0,37	23
ДТ в Гал.	11,03	0,29	7									
ДТ в М 0	10,94	0,04	12									
ПлТ в Гал.	10,95	0,12	10	11,04	0,05	10	8,18	0,35	10	8,76	0,19	10
Солнце							7,93			8,77		
Звезды				11,21			8,50			8,95		

Примечание: Данные о содержании He^+ , He и O для ПлТ - согласно Неймберта и Торрес - Неймберт (1971), а для Солнца и звезд - согласно Аллера и Чизака (1968).

ХАРАКТЕРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ДЛЯ ЭМИССИОННЫХ ОБЪЕКТОВ

Объекты	$I_{\lambda 6584} / I_{H\alpha}$			$I_{\lambda 6724} / I_{H\alpha}$			$I_{\lambda 6717} / I_{\lambda 6731}$			$\lg X$		
	\bar{X}	σ	n	\bar{X}	σ	n	\bar{X}	σ	n	\bar{X}	σ	n
СГ типа 1	0,08	0,06	23	0,04	0,03	23	0,96	0,19	22	1,15	0,35	33
РГШ	0,08	0,04	11	0,03	0,02	11	1,03	0,23	11	2,99	0,47	11
СГ 2+РГШ	0,30	0,30	40	0,49	0,25	40	1,06	0,26	34	2,90	0,45	34
Анн гал.	0,54	0,23	23	0,44	0,24	23	0,97	0,25	18	1,67	0,39	18
Яркие гал.	1,14	0,75	8	0,48	0,26	8	1,08	0,19	6	2,91	0,35	6
	1,11	0,31	18	0,49	0,25	16	1,05	0,16	17	2,96	0,29	17
Анн гал.	0,33	0,33	6	0,55	0,32	6	1,00	0,25	7	3,06	0,48	7
ДТ в Гал.	0,31	0,11	7	2,36	0,20	7						
	0,47	0,32	42	0,22	0,18	25	1,05	0,26	22	2,90	0,63	22
ДТ в М 33	0,29	0,10	20	0,34	0,14	21	1,08	0,27	15	2,39	0,52	15
ДТ в М 0	0,05	0,02	13	0,07	0,03	13	1,28	0,17	10	2,11	0,31	10
Обл. М II в Яркие гал.	0,25	0,20	37	0,13	0,10	37						
ДТ в Гал.	0,07	0,04	19	0,02	0,02	19	0,74	0,19	27	3,55	0,42	27

Примечания к таблице: Данные для ярких галактик, основанные на наш наблюдательный материал, приведены в верхнем ряду. Данные нижнего ряда включены и объекты, рассмотренные Анноном и др. (1975) и Губин и Фордом (1972). По отношению $I_{\lambda 6724} / I_{H\alpha}$ межзвездные туманности в Галактике делятся на две группы. Для одной из них указанное отношение равно или меньше 1, а для другой больше 2. По отношению $I_{\lambda 6584} / I_{H\alpha}$ обе группы неотличимы друг от друга.

тов средние интенсивности линий $[N II] \lambda 6584$ и $[S II] \lambda \lambda 6717, 6731$ примерно пропорциональны /Рисунок 17/.

Сделанное предположение равнозначно тому, что в этих объектах химический состав примерно одинаков, поскольку температуры в этих зонах одинакового порядка.

Рассмотрим следующую задачу. Допустим, что химический состав во всех этих объектах близок к солнечному. Так как для сейфертовских галактик типа *NGC* 1068 и радиогалактик с узкими линиями среднее содержание атомов близко к солнечному, примем, что содержание ионов такое же для всех других рассмотренных групп. Разумеется, мы могли бы выбрать в качестве стандартного и любой другой класс объектов, но это не повлияло бы на полученный результат, поскольку исследование – сравнительное. Подставляя в формулы (13) и (16) принятое относительное содержание ионов и средние относительные интенсивности линий для разного типа объектов, получаем электронные температуры в зонах $[O II]$, при которых для данного содержания ионов линии $[N II] \lambda 6584$ и $[S II] \lambda \lambda 6717, 6731$ имели бы наблюдаемую интенсивность. Результаты приведены в нижеописываемой таблице.

Таблица 25

	СГ I+ РГШЛ	Яркие гал.	Мрк гал.	Акн гал.	СГ 2+ РГУЛ
584 / H_{α}	4950 К	12000 К	9500 К	8500 К	10000 К
(6717, 6731) / H_{α}	5050 К	11100 К	10500 К	11500 К	10000 К

Полученные результаты говорят о том, что по крайней мере для сейфертовских галактик типа *NGC* 4151 и радиогалактик с

широкими линиями различия в отношениях $[N II] / H_{\alpha}$ и $[S II] / H_{\alpha}$ нельзя отнести только за счет разных масс газа, излучающего в рассматриваемых линиях. В противном случае необходимо допустить что степень ионизации в зонах $[O II]$ для сейфертовских галактик типа *NGC 4151* и типа *NGC 1068* сильно отличны. Это, однако, противоречит близости температур, полученных для зон $[O II]$ этих галактик различными авторами (см., например, таблица 16), а также в настоящей работе. Таким образом, аномалия химического состава сейфертовских галактик типа *NGC 4151* и радиогалактик с широкими линиями, по-видимому, является вполне реальной.

Данные таблицы 25 не позволяют столь уверенно утверждать аномалии химического состава других перечисленных в этой таблице групп объектов. Тем не менее, приведенные выше данные, как и результатов других авторов, по-видимому, следует рассматривать, как указание на реальные отличия химического состава различных групп галактик.

Рассмотрим, наконец, полученные содержания ионов с точки зрения сравнения с диффузными туманностями. Из приведенных выше данных следует, что отношение интенсивностей линий $[N II] \lambda 6584$ и H_{α} в исследованных нами ярких галактиках, галактиках Маркаряна, галактиках высокой поверхностной яркости, сейфертовских галактиках типа *NGC 1068* и радиогалактиках с узкими линиями, в согласии с результатами Бэрбицк и Бэрбиджа (1965), в 3 - 4 раза превышают значения, характерные для диффузных туманностей Галактики и ближайших галактик. Для сейфертовских галактик типа *NGC 4151* и радиогалактик с широкими линиями это отклонение достигает 5 - 10.

В связи с этими данными следует обратить внимание ещё на следующее обстоятельство. Как отмечалось, для галактик, не отно-

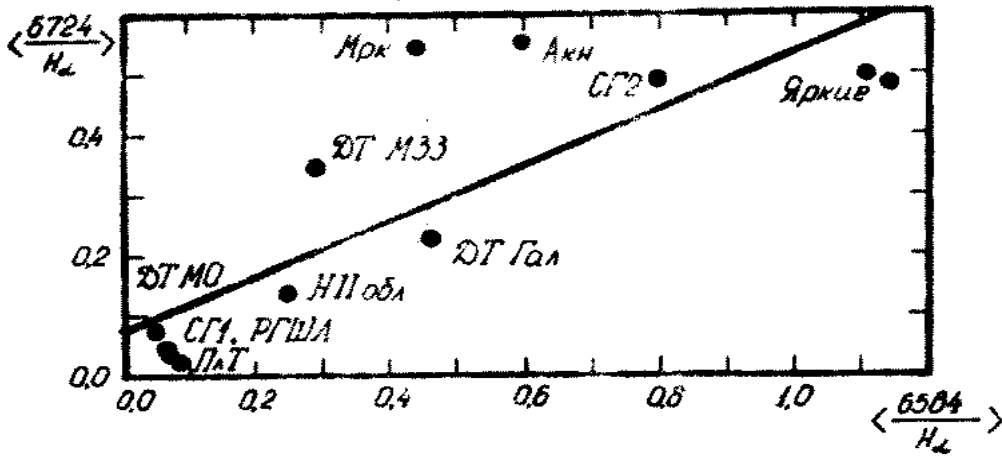


Рис. 17

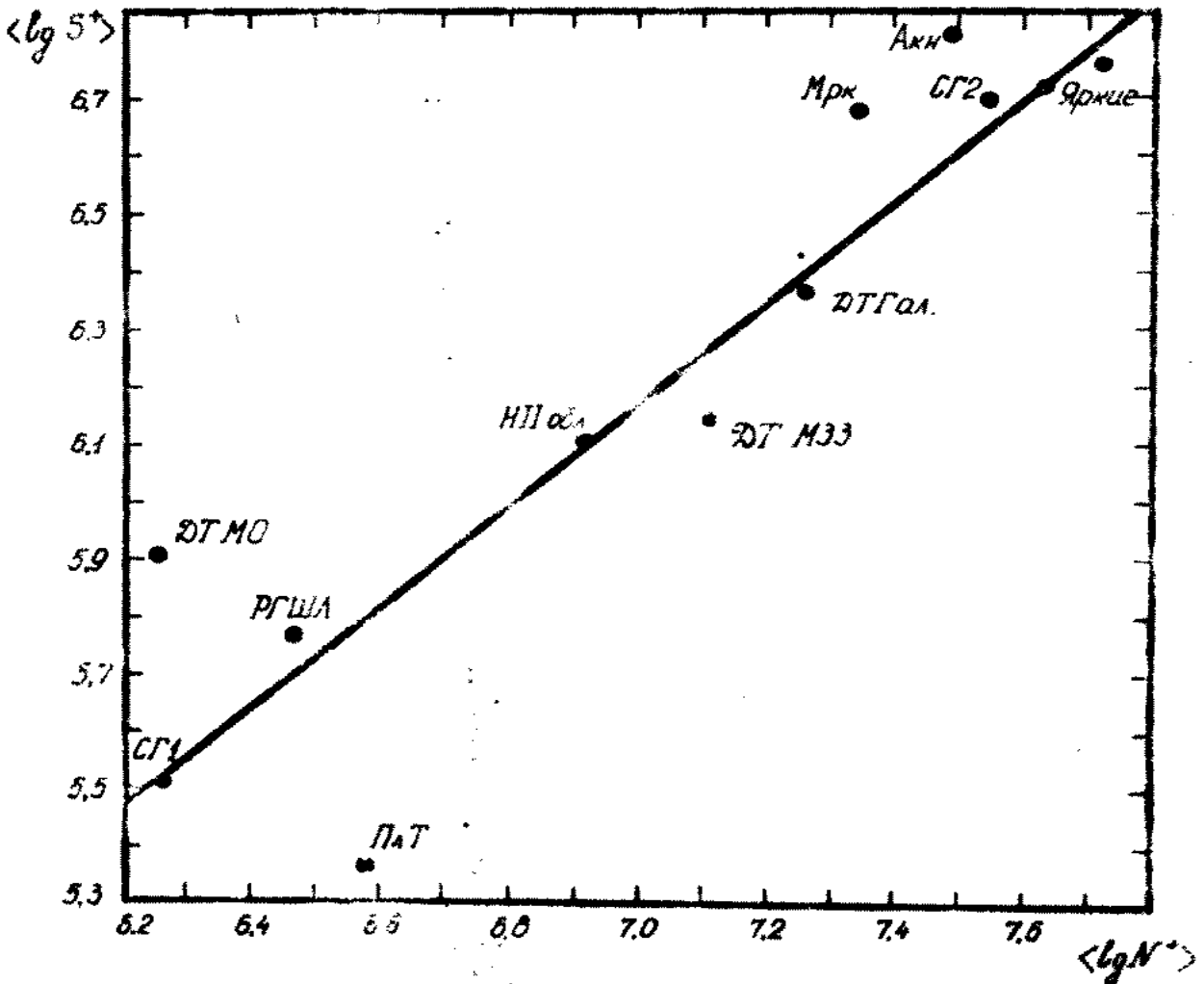


Рис. 18

Рис. 17 - Зависимость $I_{\lambda 6581}/H_{\alpha} - I_{\lambda 6717, 6731}/H_{\alpha}$ для объектов различного типа.

Рис. 18 - Зависимость "среднее число ионов азота" - "среднее число ионов серы" для объектов различного типа.

сящихся к сейфертовскому типу и не являющихся радиогалактиками, установлена корреляция между относительными интенсивностями линий $[N II] \lambda 6584$ и H_{α} и радиосветимостью. К галактикам с аномально большим (по сравнению с диффузными туманностями) отношением интенсивностей этих линий относятся, в частности, галактики M 51 и M 81, исследованные с этой точки зрения Пеймбертом (1968). С другой стороны, Остерброком и Филлипсом (1977) отмечена принадлежность к типу "M 81" нескольких галактик высокой поверхностной яркости, не относящихся к сейфертовскому типу. Судя по приведенным выше данным, к этому типу относятся и большинство рассмотренных в настоящей работе галактик Маркаряна, и галактик высокой поверхностной яркости (среднее значение $[N II] \lambda 6584 / H_{\alpha} = 0,55$). Таким образом, эти две группы галактик проявляют слабые спектральные особенности, которые, вообще говоря, коррелируют с мощностью радиоизлучения.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение приведем сводку основных результатов настоящей работы. Изложение в общем не будет следовать основному тексту.

1. На основе оригинального наблюдательного материала, предоставленного Д. В. Видманом, определены эквивалентные ширины эмиссионных линий и вычислены светимости и потоки в линиях для 20 сейфертовских галактик типа NGC 4151. Рассмотрены зависимости интенсивностей эмиссионных линий от показателей цвета и абсолютной светимости галактик в ультрафиолете и установлено некоторое различие между сейфертовскими галактиками и галактиками несейфертовского типа. С посинением галактики (т.е. с уменьшением показателей цвета) и с ростом светимости в ультрафиолете, эквивалентные ширины и, соответственно, потоки и светимости в

водородных линиях увеличиваются. Эквивалентные ширины запрещенных линий, однако, от этих величин в общем не зависят. Отношение $W [O III] / W H\beta$ уменьшается с посинением галактики или с увеличением светимости в ультрафиолете. Между тем, как показал Аракелян (1976), для галактик несейфертовского типа и $W [O III]$ и $W [O III] / W H\beta$ увеличиваются с уменьшением показателей цвета с ростом светимости в ультрафиолете.

Отсутствие зависимости $[O III]$ от показателей цвета или от абсолютной звездной величины было интерпретировано как указание на то, что в зонах $[O III]$ электронные плотности высоки и примерно одинакового порядка для всех сейфертовских галактик типа NGC 4151. Используя данные Остерброка (1977) по 36 сейфертовским галактикам типа NGC 4151 и 5 радиогалактикам с широкими линиями было получено, что в зонах $[O III]$ $\lg T_e \sim 4$ и $\lg n_e \geq 6$ с довольно малой дисперсией. Для зон $[O II]$ $\lg T_e = 4,23$ и $\lg n_e = 3,07$. При этом дисперсия намного больше. Полученные результаты согласуются с результатами других авторов. Отмечается галактика Mrk 304 как объект с довольно необычными условиями в ядре. Полученные результаты указывают на существование сильного эффекта стратификации излучения в ядрах сейфертовских галактик, отмечаемого и другими авторами, но не всегда учитываемого при определении физических условий в ядрах галактик.

2. Для 50 галактик с эмиссионными линиями стандартной методикой определены эквивалентные ширины и относительные интенсивности эмиссионных линий в красной области спектра. По отношению интенсивности линий дублета ионизованной серы $I_{\lambda 6717} / I_{\lambda 6731}$ оценена электронная плотность в областях, излучающих в запрещенных линиях. Рассмотрено отношение $[N II] \lambda 6584 / H\alpha$ для галактик разных типов. Для ярких галактик полученные результаты

сходятся с результатами Бэрбидж и Бэрбиджа (1962, 1965), но с переходом к более активным объектам наблюдается сильное отличие от их результатов. Рассмотрены некоторые возможные объяснения наблюдаемых различий. Отмечено качественное различие между диффузными туманностями и ядерными областями $H II$ галактик.

3. Применением единой методики, предложенной Пеймбертом (1968), для 50 галактик с эмиссионными линиями, 36 сейфертовских галактик типа *NGC* 4151, 15 радиогалактик с широкими линиями, 38 сейфертовских галактик типа *NGC* 1068 и радиогалактик с узкими линиями и 96 диффузных туманностей наших и ближайших галактик оценено содержание некоторых ионов и атомов для электронной температуры $T_e = 10000$ К. Обсуждается реальность различий в химическом составе разных типов объектов. Получено, что сейфертовские галактики типа *NGC* 4151 содержат на порядок меньшее относительное количество кислорода, чем сейфертовские галактики типа *NGC* 1068 и радиогалактики с узкими линиями. С другой стороны сейфертовские галактики типа *NGC* 1068 и радиогалактики с узкими линиями содержат примерно в полтора раза большее относительное количество гелия, чем радиогалактики с широкими линиями и примерно во столько же раз меньшее его относительное количество, чем сейфертовские галактики типа *NGC* 4151. По содержанию кислорода радиогалактики с широкими линиями занимают промежуточное положение. У них относительное количество кислорода в 4 - 6 раз больше, чем у сейфертовских галактик типа *NGC* 4151.

Сравнение относительного содержания ионов азота в ядрах нормальных и пекулярных объектов показывает, что самые активные объекты (сейфертовские галактики типа *NGC* 4151 и радиогалактики с широкими линиями) содержат на порядок меньшее относительное

количество ионов азота N^+ , чем галактики Баркаряна, галактики высокой поверхностной яркости или сейфертовские галактики типа NGC 1068 и радиогалактики с узкими линиями. Наибольшим относительное содержание ионов азота является в ядрах ярких галактик. Такая же картина наблюдается в отношении ионов серы (см., например, рисунок 18, на котором представлена зависимость $\lg N^+ / \lg S^+$ для объектов разного типа). Единственная разница состоит в том, что, по-видимому, галактики высокой поверхностной яркости возможно, несколько богаче серой.

4. По электронным плотностям в зонах [O II] рассматриваемые объекты с одной стороны примыкают к диффузным туманностям $\lg X = 2,90$, а с другой, к планетарным туманностям (для сейфертовских галактик типа NGC 4151 $\lg X = 3,15$, а для планетарных туманностей $\lg X = 3,55$). Следует отметить, что плотности в зонах [O II] не отражают проявлений активности объектов в оптической части спектра, но находятся в согласии с радиоизлучением галактик. Согласно Аллоэн (1973) радиоизлучение центральных областей галактик связано с менее плотными зонами. Это согласуется с выводом Товмасына и Шрамека (1975) о более высокой активности с точки зрения радиоизлучения сейфертовских галактик типа NGC 1068, для которых нами получена самая низкая плотность зон [O II].

Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю М. А. Аракеляну за неоценимую помощь во время прохождения аспирантуры и выполнения настоящей работы. Автор благодарен Д. В. Видману за предоставление наблюдательного материала, дирекции ГАИШ за предоставление возможности наблюдений на телескопе З Т Э Крымской станции ГАИШ, Э. А. Дибар, В. Т. До-

рошенко , В. Ф. Есипову и В. Ю. Теребижу за помощь при получении наблюдательного материала , полезные обсуждения и предоставления наблюдательного материала. Автор выражает благодарность сотрудникам Иностранного отдела Ереванского Государственного университета за содействие и помощь за все время прохождения аспирантуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адамс и Бидман 1975 (Adams T. F., Weedman D. W., ApJ, 199, 19).
2. Аллер 1942 (Aller L. H., ApJ, 95, 52).
3. Аллер 1953 (Aller L. H., ApJ, 113, 477).
4. Аллоэн 1973 (Alloin D., A & S, 27, 433).
5. Аллоэн и др. 1975 (Alloin D., Benvenuti F., Modosico S., Proc. Third Europ. Astron. Meeting, Tbilisi, ed. Khadarze B., p. 153).
6. Амбарцумян В. А. 1939, Теоретическая астрофизика, Гостехиздат.
7. Андерсон 1970 (Anderson K. S., ApJ, 162, 743).
8. Аракелян М. А. 1974, Астрофизика, 10, 507.
9. Аракелян М. А. 1975, Сообщ. Вкр. обс., 47, 3.
10. Аракелян М. А. 1976, Астрофизика, 12, 559.
11. Аракелян М. А. 1977, Астрофизика, 13, 427.
12. Аракелян М. А., Дибай Э. А., Есипов В. Ф., 1970, Астрофизика, 6, 39.
13. Аракелян М. А., Дибай Э. А., Есипов В. Ф. 1972а, Астрофизика, 8, 33.
14. Аракелян М. А., Дибай Э. А., Есипов В. Ф. 1972б, Астрофизика, 8, 177.
15. Аракелян М. А., Дибай Э. А., Есипов В. Ф. 1972в, Астрофизика, 8, 329.
16. Аракелян М. А., Дибай Э. А., Есипов В. Ф. 1973а, Астрофизика, 9, 319.
17. Аракелян М. А., Дибай Э. А., Есипов В. Ф. 1973б, Астрофизика, 9, 325.
18. Аракелян М. А., Дибай Э. А., Есипов В. Ф. 1975а, Астрофизика, 11, 15.
19. Аракелян М. А., Дибай Э. А., Есипов В. Ф. 1975б, Астрофизика, 11, 377.

20. Аракелян М. А., Дибай Э. А., Есипов В. Ф. 1976а, *Астрофизика*, 12, 195.
21. Аракелян М. А., Дибай Э. А., Есипов В. Ф. 1976б, *Астрофизика*, 12, 683.
22. Аракелян М. А., Дибай Э. А., Есипов В. Ф., Маркарян Б. Е. 1970, *Астрофизика*, 6, 357.
23. Аракелян М. А., Дибай Э. А., Есипов В. Ф., Маркарян Б. Е. 1971, *Астрофизика*, 7, 177.
24. Аро 1956 (*Naro G., Bol. Obs. Ton. y Tac.*, 14, 8; 18).
25. Архипова В. П. 1970, *Сообщ. ГАИИ*, 166, 31.
26. Баркер 1978а (*Barker T., ApJ*, 220, 193).
27. Баркер 1978б (*Barker T., ApJ*, 221, 145).
28. Беккер и др. 1938 (*Baker J., Menzel D., Aller L. H.*, *ApJ*, 88, 422).
29. Бенвенути и др. 1973 (*Benvenuti P., D'Odorico S., Reimbert M.*, *A & Ap*, 28, 447).
30. Берг 1958 (*Bergh S., van den, AJ*, 63, 492).
31. Босхар 1974 (*Boshaar G. O., ApJ*, 187, 283).
32. Боярчук А. А., Гершберг Р. Е., Проник В. И. 1963, *Изв. КраО*, 29, 291.
33. Боярчук А. А., Гершберг Р. Е., Годовников Н. В., Проник В. И. 1969, *Изв. КраО*, 39, 147.
34. Броклохарст 1971 (*Brocklehurst M., MNRAS*, 153, 471).
35. Букач А. В., Грандкий М. В., Елисеев В. С., Комиссаров В. Н. 1977, *Изв. КраО*, 56, 129.
36. Бурбидж 1962 (*Burbidge E. M., in "Interstellar matter in galaxies"*, ed. Woltjer L., New York, p. 123).
37. Бурбидж 1970 (*Burbidge G. R., Ann. Rev. A & Ap*, 8, 369).
38. Бурбидж и Бурбидж 1959 (*Burbidge E. M., Burbidge G. R.*, *ApJ*, 130, 26).

39. Бэрбидж и Бэрбидж 1962 (Burbidge E. M., Burbidge G. R., *ApJ*, 135, 694).
40. Бэрбидж и Бэрбидж 1965 (Burbidge E. M., Burbidge G. R., *ApJ*, 142, 634).
41. Бэрбидж и др. 1963а (Burbidge E. M., Burbidge G. R., Prentiss K. H., *ApJ*, 137, 1022).
42. Бэрбидж и др. 1963б (Burbidge G. R., Gould R. J., Pottasch S. R., *ApJ*, 138, 945).
43. Вэмплер 1971 (Wampler E. J., *ApJ*, 164, 1).
44. Вудман 1968 (Weedman D. W., *PASP*, 80, 314).
45. Вудман 1970 (Weedman D. W., *ApJ*, 159, 405).
46. Вудман 1976 (Weedman D. W., *ApJ*, 208, 30).
47. Вудман 1977а (Weedman D. W., *Vistas in Astronomy*, 21, 55).
48. Вудман 1977б (Weedman D. W., *Ann. Rev. A & Sp.*, 15, 69).
49. Вудман 1978 (Weedman D. W., *MNRAS*, 184, 11).
50. Вудман Д. В., Хачикян Э. Е. 1968, *Астрофизика*, 4, 587.
51. Вудман Д. В., Хачикян Э. Е. 1969, *Астрофизика*, 5, 113.
52. Уорнер 1973 (Warner J. W., *ApJ*, 186, 21).
53. Вольвер и др. 1976 (Vaucouleurs G. de, Vaucouleurs A. de, Heuvels E. J. G., *Second Ref. Cat. Bright Galaxies*, Univ. Texas Press).
54. Вольтер 1959 (Woltjer L., *ApJ*, 130, 38).
55. Воронцов - Вельяминов Е. А., Красногорская А. А., Архипова В. П. 1963, *Морфологический каталог галактик*, т. I, МГУ.
56. Воронцов - Вельяминов Е. А., Красногорская А. А., Архипова В. П. 1965, *Морфологический каталог галактик*, т. III, МГУ.
57. Воронцов - Вельяминов Е. А., Красногорская А. А., Архипова В. П. 1967, *Морфологический каталог галактик*, т. II, МГУ.
58. Воронцов - Вельяминов Е. А., Красногорская А. А., Архипова В. П. 1969, *Морфологический каталог галактик*, т. IV, МГУ.

59. Воронцов - Вельяминов И. А., Дибай Э. А. 1968, Стэн. МАС М 29, ред. Аракелян И. А.
60. Гайер Э. Г., 1975, Йенское обозрение, № 1, 26.
61. Гислер 1977 (Gislser G. R., preprint).
62. Головатый Б. В., Жуков О. Н. 1974, Пробл. косм. физ., 9, 162.
63. Гранди 1977 (Grandi S. A., ApJ, 215, 446).
64. Гранди и Остерброт 1978 (Grandi S. A., Osterbrock D. E., ApJ, 220, 783).
65. Груеф и Виготти 1977 (Grueff G., Viggotti M., Astron. and Astroph., 54, 475).
66. Джеймс и Мак Клур 1972 (James K. A., Mc Clure R. D., IAU, Colloquium N^o 17, BAAS, 4, 241).
67. Джонсон 1953 (Johnson H. L., ApJ, 118, 350).
68. Дибай Э. А. 1969, Докторская диссертация, К., МГУ.
69. Дибай Э. А., Дорошенко В. Т., Терехиж В. Ю. 1976, Астрофизика, 12, 689.
70. Дибай Э. А., Есипов В. Ф., Проник В. И. 1967, АЖ, 44, 689.
71. Дибай Э. А., Проник В. И. 1965, Астрофизика, 1, 78.
72. Дибай Э. А., Проник В. И. 1966, Изв. КрАО, 35, 87.
73. Дибай Э. А., Проник В. И. 1967, АЖ, 44, 952.
74. Д'Одориго и др. 1976 (D'Odorico S., Reimbert M., Sabadin F., A. J. Ap., 47, 341).
75. Дорошенко В. Т., Терехиж В. Ю. 1975, Астрофизика, 11, 631.
76. Дэвидсон 1972 (Davidson K., ApJ, 171, 213).
77. Дюфур 1975 (Dufour R. J., ApJ, 195, 315).
78. Дюфур и Харлоу 1977 (Dufour R. J., Harlow W. V., ApJ, 215, 766).
79. Эльвис и др. 1978 (Elvis M., Maccakaro T., Wilson A. S., Ward M. J., Penston M. V., Fosbury R. A. E., Perola G. C., MNRAS, 183, 129).

80. Пенсен и др. 1976 (Jensen E. B., Strom K. M., Strom S. E.,
ApJ, 209, 748).
81. Калер и др. 1976 (Kaler J. B., Aller L. H., Czyzak S. J.,
Erps H. W., ApJ Suppl., 31, 163).
82. Кемпбел и Мур 1918a (Campbell W. W., Moore J. H., Lick Obs.
Bull., 13, 88).
83. Кемпбел и Мур 1918b (Campbell W. W., Moore J. H., Lick Obs.
Bull., 13, 122).
84. Коллин - Суфрен и Жюли 1976 (Collin - Soufrin S., Joly M.,
A. S. Ap, 53, 213).
85. Коски 1978 (Koski A. T., ApJ, 223, 56).
86. Костеро и Остерброк 1977 (Costero R., Osterbrock D. E.,
ApJ, 211, 675).
87. Кохен 1976 (Cohen J., ApJ, 203, 587).
88. Крюгер и др. 1970 (Krueger T. K., Aller L. H., Czyzak S. J.,
89. ApJ, 160, 921).
89. Куртес 1960 (Courtes G., Ann. Ap, 23, 115).
90. Куртес и др. 1969 (Courtes G., Louise R., Monnet G., A. S. Ap,
2, 222).
91. Кунт и Сарджент 1979 (Kunth D., Sargent W. L. W., ApJ Suppl.,
36, 259).
92. Мак Алпайн 1972 (Mc Alpine G. M., ApJ, 175, 11).
93. Мак Алпайн 1974 (Mc Alpine G. M., ApJ, 192, 37).
94. Мак Клур 1969 (Mc Clure R. D., AJ, 74, 50).
95. Маркьяни В. Е. 1967, Астрофизика, 3, 55.
96. Маркьяни В. Е. 1969a, Астрофизика, 5, 443.
97. Маркьяни В. Е. 1969b, Астрофизика, 5, 581.
98. Маркьяни В. Е., Липовецкий В. А. 1971, Астрофизика, 7, 511.
99. Мартин 1974 (Martin W. L., MNRAS, 168, 109).

100. Минзел и Аллер 1941 (Menzel D., Aller L. H., ApJ, 24, 30).
101. Метьюз и Сандейдж 1963 (Mathews T. A., Sandage A., ApJ, 138, 30).
102. Минковски и Остерброк 1959 (Minkowski R., Osterbrock D. E., ApJ, 129, 583).
103. Морган и Остерброк 1969 (Morgan W. W., Osterbrock D. E., AJ, 74, 515).
104. Мэйолл 1934 (Mayall N. U., PASP, 46, 134).
105. Мэйолл 1936 (Mayall N. U., PASP, 48, 14).
- ✓ 106. Мэйолл 1939 (Mayall N. U., Lick Obs. Bull., 19, 33).
- ✓ 107. Мэйолл 1953 (Mayall N. U., IAU Symp., 5, p. 23).
108. Нойгебауер и др. 1976 (Neugebauer G., Becklin E. E., Oke J. B., Searle L., ApJ, 205, 29).
109. Нилсон 1973 (Nilson P., Uppsala General Catalogue of Galaxies, Uppsala, Sweden).
110. Остерброк 1960 (Osterbrock D. E., ApJ, 132, 325).
111. Остерброк 1962 (Osterbrock D. E., in "Interstellar matter in galaxies", ed. Woltjer L., New York, p. 111). 3
112. Остерброк 1970a (Osterbrock D. E., Quart. JRAS, 11, 199).
113. Остерброк 1970b (Osterbrock D. E., in "Nuclei of galaxies", p. 151, ed. D. O. Connell).
114. Остерброк 1974 (Osterbrock D. E., Astrophysics of gaseous nebulae, San Francisco, Freeman & Co.).
115. Остерброк 1975 (Osterbrock D. E., ApJ, 215, 733).
116. Остерброк 1977 (Osterbrock D. E., PASP, 89, 620).
117. Остерброк 1978 (Osterbrock D. E., Phys. Scr., 17, 137).
118. Остерброк и Коски 1976 (Osterbrock D. E., Koski A. T., MNRAS, 176, 61p).

119. Остерброк и Миллер 1975 (Osterbrock D. E., Miller J. S.,
ApJ, 197, 535).
120. Остерброк и Паркер 1965 (Osterbrock D. E., Parker H. A. R.,
ApJ, 141, 892).
121. Остерброк и Филлипс 1977 (Osterbrock D. E., Phillips M. M.,
PASP, 89, 251).
122. Остерброк и др. 1976 (Osterbrock D. E., Koike A. T., Phil-
lips M. M., ApJ, 206, 898).
123. Оук и Сарджент 1968 (Oke J. B., Sargent W. L. W., ApJ,
151, 807).
124. Пейдж 1952 (Page T., ApJ, 116, 63).
125. Пеймберт 1967 (Peimbert M., ApJ, 150, 825).
126. Пеймберт 1968 (Peimbert M., ApJ, 154, 331).
127. Пеймберт 1975 (Peimbert M., Ann. Rev. A & Sp., 13, 113).
128. Пеймберт и Спинрад 1970а (Peimbert M., Spinrad S., A & Sp.,
7, 311).
129. Пеймберт и Спинрад 1970б (Peimbert M., Spinrad S., ApJ,
152, 809).
130. Пеймберт и Спинрад 1970в (Peimbert M., Spinrad S., ApJ,
160, 429).
131. Пеймберт и Торрес - Пеймберт 1977 (Peimbert M., Torres -
Peimbert S., MNRAS, 179, 217).
132. Пеймберт и др. 1975 (Peimbert M., Rayo S., Torres - Peimbert
S., Rev. Mex. A & Sp., 1, 289).
133. Пенстон и Фосбури 1978 (Penston M. V., Fosbury R. A. E.,
MNRAS, 183, 479).
134. Петров Г. Т. 1979а, Астрофизика, 15, 59.
135. Петров Г. Т. 1979б, Астрофизика, 15, 383.
136. Петров Г. Т. 1979в, Письма в АИ, 5, 267.
137. Петров Г. Т. 1979г, тезисы докладов, Конференция молодых ас-

- трофизиков, октябрь 1978, Еureka, стр. 12.
138. Петров Г. Т. 1979д, Докл. АН Арм. ССР, в печати.
139. Петров Г. Т. 1979е, Докл. АН Арм. ССР, в печати.
140. Проник Б. И. 1962, Вопросы космогонии, 8, 191.
141. Проник В. И. 1976, Изв. КраО, 54, 165.
142. Проник Б. И. 1977, Астрофизика, 13, 51.
143. Проник И. Б. 1972, АИ, 49, 768.
144. Рубин и Форд 1968 (Rubin V. C., Ford W. K., Jr., ApJ, 154, 431).
145. Рубин и Форд 1972 (Rubin V. C., Ford W. K., Jr., IAU Symp. N^o 44, ed. D. Evans).
146. Сараф и Ситон 1970 (Saraph H. E., Seaton M. J., MNRAS, 148, 367).
147. Сарджент 1970 (Sargent W. L. W., ApJ, 160, 405).
148. Сейферт 1943 (Seyfert C. K., ApJ, 97, 28).
149. Сирл 1971 (Searle L., ApJ, 168, 327).
150. Ситон 1954 (Seaton M. J., MNRAS, 114, 154).
151. Ситон 1960 (Seaton M. J., Rept. Progr. Phys., 23, 313).
152. Ситон 1975 (Seaton M. J., MNRAS, 170, 475).
153. Ситон и Остерброк 1957 (Seaton M. J., Osterbrock D. E., ApJ, 125, 66).
154. Слайпер 1917 (Slipper V. M., Lowell Obs. Bull., 3, 59).
155. Смит 1975 (Smith H. E., ApJ, 199, 591).
156. Смит и др. 1976 (Smith H. E., Spinrad H., Hunstead R., ApJ, 206, 345).
157. Оболев В. Б. 1941, Уч. запис. ЛГУ, № 82.
158. Спинрад и Реймберт 1975 (Spinrad H., Reimbert M., in "Galaxies and the Universe", ed. Sandage A. J. M., Kristian J., p. 37).
159. Спинрад и др. 1971 (Spinrad H., Gunn J., Taylor B. J., McClure R., Young J., ApJ, 164, 11).

160. Спинрад и др. 1972 (Spinrad H., Smith H. E., Taylor D. J.,
ApJ, 175, 649).
161. Торрес - Реймберт и Реймберт 1977 (Torres - Reimbert S.,
Reimbert M., Rev. Mex. A & Ap, 2, 181).
162. Уитфорд 1958 (Whitford A. E., AJ, 63, 201).
163. Уолкер 1964 (Walker M. F., AJ, 69, 774).
164. Фосбури и др. 1978 (Fosbury R. A. E., Mebold U., Goss W. M.,
Dorita M. A., MNRAS, 183, 549).
165. Хаббл 1926 (Hubble E. P., ApJ, 64, 328).
166. Хаули и Гранди 1977 (Hawley S. A., Grandi S. A., ApJ,
217, 420).
167. Хачикян и Видман 1971 (Khachikian E. Y., Weedman D. W.,
Астрофизика, 7, 389).
168. Хачикян и Видман 1974 (Khachikian E. Y., Weedman D. W.,
ApJ, 192, 581).
169. Хой Дж. 1978, Радиовселенная, стр. 203, М., "Мир".
170. Кухра 1977 (Kuchra J. P., ApJ Suppl., 35, 171).
171. Хумасон и др. 1956 (Humason M. L., Mayall N. U., Sandage A.,
ApJ, 61, 97).
172. Звигки и Херцог 1963 (Zwicky F., Herzog E., Catalogue of
Galaxies and a Cluster of Galaxies, vol. 2).
173. Звигки и Херцог 1966 (Zwicky F., Herzog E., Catalogue of
Galaxies and a Clusters of Galaxies, vol. 3).
174. Звигки и Херцог 1968 (Zwicky F., Herzog E., Catalogue of
Galaxies and a Clusters of Galaxies, vol. 4).
175. Звигки и др. 1961 (Zwicky F., Herzog E., Wild P., Catalogue
Galaxies and a Clusters of Galaxies, vol. 1).
176. Звигки и др. 1965 (Zwicky F., Karpowicz M., Kowal C. T.,

- Catalogue of Galaxies and a Clusters of Galaxies, vol. 5).
177. Цвикки и Цвикки 1971 (Zwicky F., Zwicky M., Catalogue of Selected Compact Galaxies and Post Eruptive Objects).
178. Чизак и др. 1970 (Czyzak S. J., Aller L. H., Kaler J. B., Proc. Nat. Acad. Sci., 66, 282).
179. Шилдс 1974 (Shields G. A., ApJ, 193, 335).
180. Шилдс и Оук 1975 (Shields G. A., Oke J. B., ApJ, 197, 5).
181. Шилдс и др. 1972 (Shields G. A., Oke J. B., Sargent W. L. W., ApJ, 176, 75).
182. Крачек и Товмассян 1975 (Sramek R. A., Tovmassian H. M., ApJ, 196, 339).
183. Янкулова К. М. 1974, АЖ, 51, 1208.
184. Янкулова К. М., Дибай Э. А., Есипов В. Ф. 1974, АЖ, 51, 464.
185. Янкулова К. М., Петров Г. Т., Голев В. К. 1980, Астрофизические исследования, БАН, в печати.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

ВВЕДЕНИЕ	2
ГЛАВА I	
Спектрофотометрическое исследование ядер галактик с эмиссионными линиями	14
1. Программа и постановка задачи	14
2. Аппаратура	17
3. Методика	23
4. Наблюдательные данные	24
5. Эквивалентные шумы эмиссионных линий и их относительные интенсивности в ядрах галактик несейфертовского типа	30
6. Отношение $[N II] \lambda 6584 / H_{\alpha}$ в ядрах галактик	37
ГЛАВА II	
Физические условия в ядрах нормальных галактик с эмиссионными линиями	45
1. Методы определения электронных температур и электронных плотностей	45
2. Химический состав эмиссионных объектов	50
3. Физические условия и содержание ионов в ядрах нормальных галактик с эмиссионными линиями	54
ГЛАВА III	
Физические условия в ядрах peculiarных объектов	60
1. Введение	60
2. Сравнимости интенсивности и потока в линиях от показателя N_{λ} для сейфертовских галактик типа NGC 4151	61
3. Физические условия в ядрах сейфертовских галактик типа NGC 4151	74
4. Содержание ионов и химический состав излучающего	

газа в ядрах сейфертовских галактик типа M60 4151 и
радиогалактик с широкими линиями 86

5. Физические условия, содержание ионов и химический состав излучающего газа в ядрах сейфертовских галактик типа M60 1068 и радиогалактик с узкими линиями .. 88

ГЛАВА IV

Сравнение физических условий в туманностях, ядрах нормальных галактик, и пекулярных внегалактических объектов 98

1. Физические условия и содержание некоторых ионов в диффузных туманностях 98

2. Сравнение физических условий в ядрах нормальных и пекулярных галактик и диффузных туманностях 103

3. Заключение 110

ЛИТЕРАТУРА 115