

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 15

НОЯБРЬ, 1979

ВЫПУСК 4

УДК 523.855

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИРРЕГУЛЯРНЫХ ГАЛАКТИК ТИПА М 82. II. NGC 972 И NGC 4433*

Н. К. АНДРЕАСЯН, Э. Е. ХАЧИКЯН

Поступила 14 декабря 1978

Приведены результаты подробной спектрофотометрии галактик NGC 972 и NGC 4433. Наблюдательный материал получен на 107" телескопе Мак-Дональдской обсерватории со спектрографом UVITS с дисперсией 225 А/мм и 200" телескопе обсерваторий Хейл с кассегреновским спектрографом с дисперсией 85 А/мм. Определены эквивалентные ширины и относительные интенсивности линий в спектрах NGC 972 и NGC 4433. Делается заключение о наличии в этих галактиках звезд ранних спектральных классов и газовых облаков низкой степени возбуждения и низкой плотности. Предполагается, что звезды и газ входят в общие физические системы, образуя сверхассоциации. В центральной части NGC 972 и NGC 4433 выявлены области, сильно излучающие в непрерывном спектре.

1. *Введение.* В Хаббловском атласе галактики NGC 972 и NGC 4433 приведены на одной странице и описаны как Sb галактики с аномальным содержанием пыли. Сандейдж отмечает, что хаотичным распределением пыли внешне они напоминают галактику М 82 [2]. По наличию несоответствия между показателем цвета и спектральным классом Маркьян включил NGC 972 и NGC 4433 в список галактик типа М 82 [3].

Спектр галактики NGC 972 соответствует классу F3, а показатель цвета равен 0^m83 [4]. Подробное фотометрическое исследование этой галактики выполнено Бернаккой и Бертолой [5]. Для интегральной звездной величины они получили значение 12^m46 , а для светимости $10^{10} L_{\odot}$. Поло-

* Первая работа по спектрофотометрическому исследованию галактик типа М 82, посвященная галактике NGC 520, была опубликована одним из авторов (Э. Е. Х.) ранее [1].

вина яркости NGC 972 сосредоточена в области с радиусом 0.57 . Распределение яркости не соответствует распределению массы, и отношение M/L с очень крутым градиентом уменьшается к периферийным областям галактики. Отмечено, что в центральной части галактики наблюдаются два ярких сгущения на расстоянии $13''$ друг от друга. О наличии двух ярких сгущений в центральной области галактики отмечено также в работе [6]. У NGC 972 Линде наблюдала отчетливое звездобразное ядро в красных лучах [7]. Поле лучевых скоростей в NGC 972 исследовали Бербидж и др. [8]. Масса внутри радиуса $37''$ оказалась равной $8.7 \cdot 10^9 M_{\odot}$, что по их оценке составляет $2/3$ общей массы галактики. Следов взрыва, подобно таковому у M 82, они не обнаружили. Массу NGC 972 определяли также Такаси и Киносита, применив модифицированный метод Брандта [9]. По их определению общая масса NGC 972 равна $1.2 \cdot 10^{10} M_{\odot}$. По Робертсу общая масса NGC 972 равна $1.3 \cdot 10^{10} M_{\odot}$ [10].

Показатель цвета NGC 4433 равен 0^m7 , а спектр соответствует классу F [11]. Спектроскопическое и фотометрическое исследование NGC 4433 проведено Хромеем [12]. На основе многоцветной фотометрии он построил синтетическую модель звездного населения NGC 4433, в котором доминируют звезды классов F—G. Вообще в его модели звезды ранних классов численно преобладают над звездами поздних классов. Слабое радиоизлучение у NGC 4433 обнаружено Товмасыном [13]. Красное смещение этой галактики, $z = 0.0096$, определили Хачикян и Паносян [14].

Криенк и Ходж относят NGC 972 и NGC 4433 к группе галактик, у которых особенности типа M 82 обусловлены только присутствием в этих галактиках аномально большого количества поглощающей материи [15].

Представляется очень важным подробное спектральное изучение NGC 972 и NGC 4433 с целью выяснения природы источников излучения причины несоответствия показателя цвета со спектральным классом, а также особенностей внутренней динамики. В настоящей статье приведены результаты подробного спектрального исследования этих галактик.

2. Наблюдательный материал. Спектрограммы NGC 972 получены на $107''$ телескопе Мак-Дональдской обсерватории (США) со спектрографом UVITS с дисперсией 225 \AA/мм , на пластинках Kodak IIa-O. Основные данные об этих спектрограммах приведены в табл. 1.

Во время наблюдений ширина щели спектрографа была равна $1.5\text{--}2''$. На рис. 1а, б приведены репродукции спектрограмм NGC 972, полученные при ориентировке щели спектрографа вдоль большой и малой осей галактики. Кривая спектральной чувствительности системы построена по наблюдениям стандартных звезд типа A0.

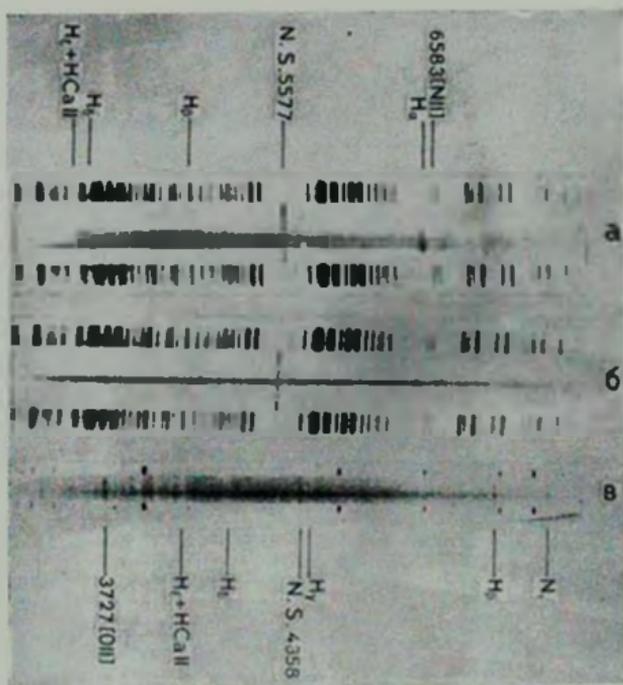


Рис. 1. а) спектр галактики NGC 972 вдоль большой оси (№ 322а), б) спектр NGC 972 вдоль малой оси (№ 321с), в) спектр галактики NGC 4433.

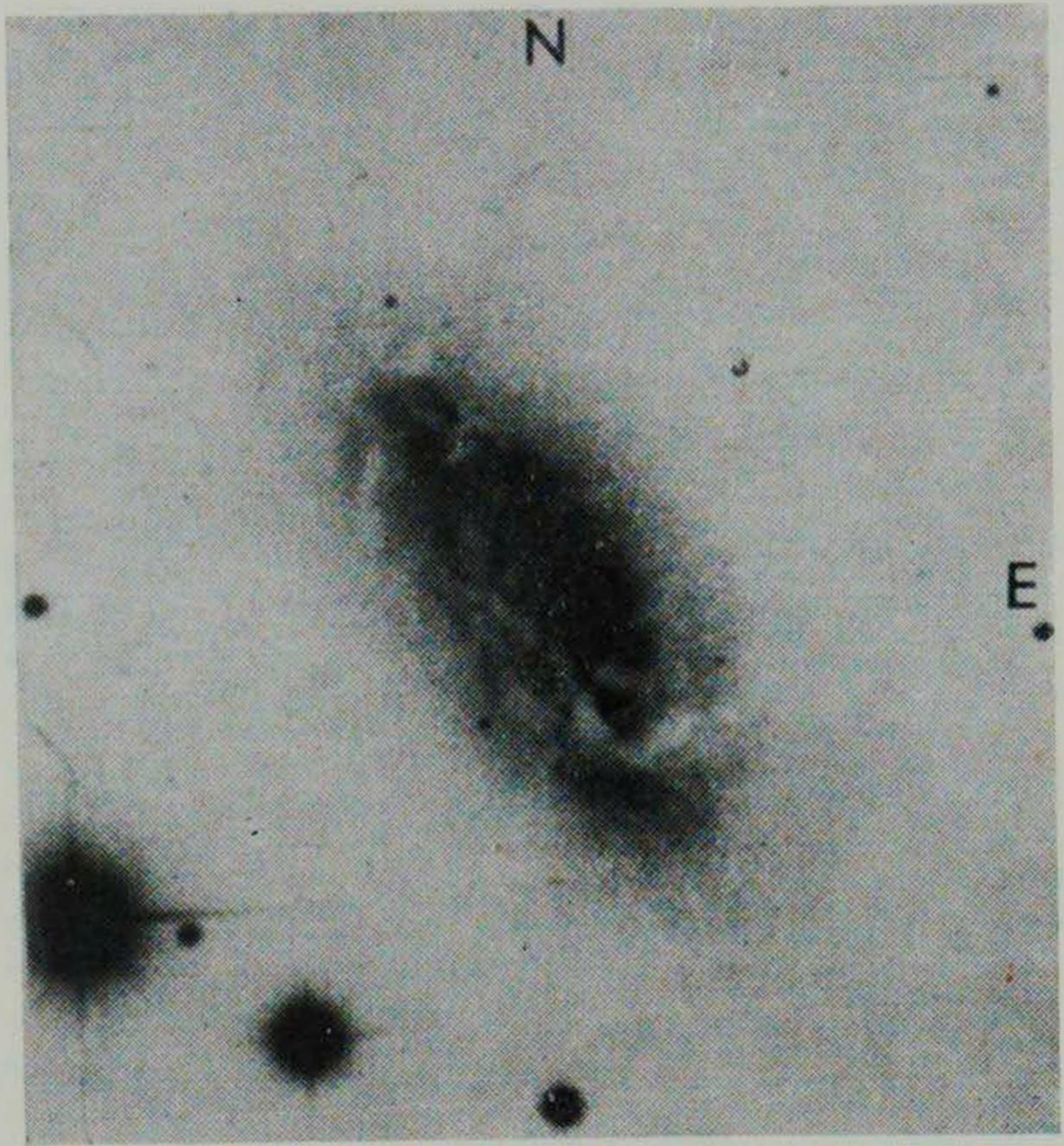


Рис. 2. Фотография галактики NGC 972 (масштаб 1 мм \sim 2").

К ст. Н. К. Андреасян, Э. Е. Хачикяна

Таблица 1

№ пластинок	Дата	Эксп. (мин)	Спектральная область (А)	Направление щели
305b	23.9.1973	15	3500—7500	Вдоль большой оси, $\theta = 82^\circ$
309c	24.9.1973	20	3500—7500	" " " "
321c	28.9.1973	15	3500—7500	Вдоль малой оси, $\theta = 0^\circ$
322a	28.9.1973	15	3500—7500	Вдоль большой оси

Крупномасштабная фотография NGC 972 получена 1.1.1968 г. из 200" телескопе обсерваторий Хейл (США) на пластинках Kodak 103a-O с экспозицией 20 мин. Ее репродукция показана на рис. 2.

Спектрограмма галактики NGC 4433 получена в кассегреновском фокусе 200" телескопа обсерваторий Хейл с помощью ЭОП, дисперсия 85 А/мм, на пластинках Kodak 11a-O с экспозицией 5 мин. Щель была установлена по направлению север—юг, по которому и расположена большая ось галактики. На рис. 1в показана спектрограмма NGC 4433.

3. Результаты наблюдений. NGC 972. а) Спектры 305b, 309c и 322a, полученные при ориентировке щели спектрографа по большой оси галактики, состоят из сильного непрерывного спектра, плотность которого меняется вдоль высоты щели, пересеченного рядом линий поглощения и излучения.

На непрерывном спектре шириной 30" выделяются две узкие сравнительно яркие непрерывные полоски вдоль дисперсии шириной 4". Одна из этих полосок ограничивает спектр снизу (рис. 1а) и относится к северо-западной части галактики, а вторая находится на расстоянии 13" к юго-востоку от первой и делит непрерывный спектр на две примерно равные части. Интересно, что расстояние между этими яркими полосками соответствует таковому между сгущениями, отмеченными в работах [5] и [6], и, по-видимому, полоски представляют собой спектры этих сгущений.

В спектре галактики наблюдаются эмиссионные линии 6583 [N II], H₁, H₂, 3727 [O II], причем линия H₁ наблюдается одновременно и в поглощении. В поглощении наблюдаются также линия D Na, H и K CaII и линии бальмеровской серии водорода, начиная от H₁₁. Интересно, что в области спектра, соответствующей центральной части галактики, линия H₂ наблюдается только в поглощении.

Примечательна структура линий излучения вдоль высоты щели: они состоят из нескольких соединенных друг с другом продолговатых сгущений, два из которых выходят за пределы непрерывного спектра. Все эти сгущения хорошо выделяются на регистрограммах спектра вдоль линий H₁ и 6583 [N II] по высоте щели (рис. 3). На рис. 3 обозначены места

сгущений, а их расстояния от самого яркого из них (1) соответственно равны 11."9, 20."5, 28."5, 37."9, 44."2. Интересно, что эти сгущения не совпадают с яркими непрерывными полосками.

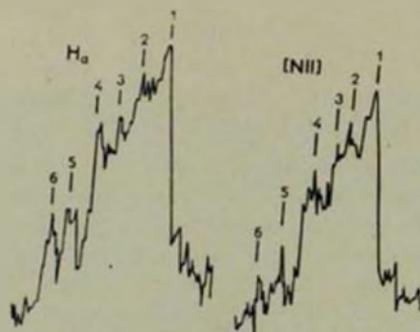


Рис. 3. Регистрограмма спектра № 322а вдоль линий H_{α} и 6583 [N II].

Разница между красными смещениями линий излучения и поглощения в одном и том же сечении спектра не превосходит ошибок наших измерений (± 90 км/с). Линии излучения заметно наклонены вследствие быстрого вращения галактики (примерно 120 км/с на расстоянии 2430 пс от центра галактики). Красные смещения шести отмеченных на рис. 3 сгущений эмиссионных линий приведены в табл. 2. В области галактики внутри радиуса 22" не обнаруживаются некруговые движения, а если они и есть, их скорость не превышает пределов наших ошибок.

Таблица 2
КРАСНЫЕ СМЕЩЕНИЯ ЭМИССИОННЫХ СГУЩЕНИЙ В СПЕКТРЕ
ГАЛАКТИКИ NGC 972

Линия	Сгущение					
	1	2	3	4	5	6
6583 [N II]	0.0052	0.0049	0.0044	0.0042	—	—
H_{α}	0.0052	0.0049	0.0046	0.0044	0.0041	0.0036
H_{β}	0.0051	—	—	0.0041	—	—

Регистрограммы трех областей спектра № 322а приведены на рис. 4а. Первая сверху относится к яркому сгущению 1, вторая и третья охватывают область непрерывного спектра по обе стороны от центральной яркой полоски. При регистрации первого сгущения в цель микрофотометра попадала также примыкающая к нему часть непрерывной яркой полоски. Относительные интенсивности и эквивалентные ширины спектральных ли-

ний в трех записанных областях спектра (усредненные по пластинкам № 305, 309с, 322а) приведены в табл. 3. В второй и в последующих таблицах эмиссионные линии обозначены буквой «э».

Таблица 3

ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ИНТЕНСИВНОСТИ И ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ
ГАЛАКТИКИ NGC 972

Линия	I сечение	II сечение	III сечение
Относительные интенсивности			
6583 [N II] э	3.2	4.3	7.6
H _α э	7.0	9.6	22.8
H _β э	1.0	1.0	1.0
3727 [O II] э	0.2	0.3	0.3
Эквивалентные ширины (А)			
6583 [N II] э	17.1	13.2	5.4
H _α э	44.1	30.5	14.8
5896 D Na	4.8	3.4	6.6
H _β э	11.1	5.9	1.5
H _γ	—	4.0	1.9
H _δ	—	5.4	5.8
H _α + H Ca II	—	5.9	2.3
K Ca II	—	5.1	—
H _ε	—	3.3	—
H _ζ	—	3.4	2.2
3727 [O II] э	3.7	3.7	4.0

Представляет интерес отношение интенсивностей линий H_α и 6583 [N II] в сгущениях (рис. 3). Для первых четырех сгущений это отношение соответственно равно 2.3, 3.1, 5.3, 1.6.

6) Спектр № 321с (рис. 16) получен при ориентировке щели спектрографа по малой оси галактики. Непрерывный спектр шириной 13" с восточной стороны ограничен более яркой полосой (3"), а в направлении на запад постепенно слабеет. В излучении наблюдаются линии 6583 [N II], H_α, 3727 [O II]. Все эти линии простираются по высоте спектра на 20", выходя за пределы непрерывного спектра. На линиях H_α и 6583 [N II] отчетливо выделяются два сгущения. В поглощении наблюдаются те же линии, что и в спектрах 305b, 309с, 322а. Регистрограмма яркой непрерывной части приведена на рис. 46. Значения относительных интенсивностей и эквивалентных ширины в этой и соседней с нею области (по пластинке № 321с) приведены в табл. 4.

Линии H_α и 6583 [N II] фотометрированы также в двух отмеченных выше сгущениях, в которых отношение интенсивностей этих линий оказалось равным 3.6 и 3.3.

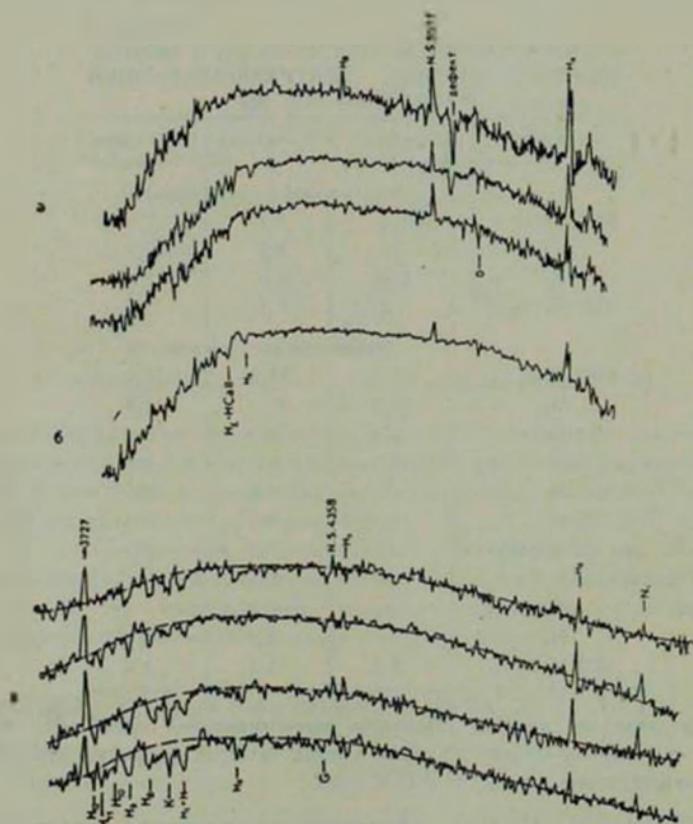


Рис. 4. а) Регистрограммы трех сечений спектра № 322а галактики NGC 972; б) регистрограмма спектра NGC 972, № 321с, в) регистрограммы четырех сечений спектра галактики NGC 4433.

NGC 4433. В спектре этой галактики выделяются две примыкающие друг к другу непрерывные полоски, идущие вдоль дисперсии в средней части спектра (рис. 1в). По обе стороны от этих полос непрерывный спектр почти одинаков по яркости. В спектре наблюдаются эмиссионные линии N_1 , N_2 , N_3 , N_4 , 3727 [O II]. Первые члены бальмеровской серии наблюдаются одновременно в поглощении и в эмиссии, причем центральные

частоты эмиссионных и абсорбционных компонент совпадают. Сравнительно узкие эмиссионные компоненты как бы провалены в широкие линии поглощения. Это хорошо видно по приведенным на рис. 5 профилям линий H_2 и H_{11} , соответствующим четырем разрезам спектра. Общие регистрограммы этих четырех разрезов спектра приведены на рис. 4в. Первая из них (сверху) соответствует спектру северной части галактики, вторая и третья — спектрам двух центральных сгущений, а четвертая — спектру южной части.

Таблица 4
ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ИНТЕНСИВНОСТИ И ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ ГАЛАКТИКИ NGC 972

Линия	I сечение	II сечение
Относительные интенсивности		
6583 [N II] "	0.7	0.6
H_2 "	1.0	1.0
3727 [O II] "	0.1	0.2
Эквивалентные ширины (Å)		
6583 [N II] "	13.6	5.8
H_2 "	17.5	10.2
5896 D Na "	1.9	3.3
H_2	6.7	7.8
$H_2 + H Ca II$	8.3	10.1
K Ca II	2.8	3.9
H_2	3.9	6.5
H_2	1.5	5.4
H_{10}	0.5	2.9
H_{11}	—	2.1
3727 [O II] "	5.8	6.3

В поглощении наблюдаются линии H и $K Ca II$ и линии бальмеровской серии водорода, от H_2 до H_{11} . В спектре NGC 4433 все эмиссионные линии прослеживаются по всей высоте непрерывного спектра и все они, как и у NGC 972, наклонены вследствие вращения галактики. На рис. 6 приведены регистрограммы эмиссионных линий по высоте щели. Они характеризуют изменение интенсивности эмиссии вдоль большой оси галактики. Во всех линиях хорошо выделяются оба центральных сгущения.

Результаты фотометрии спектральных линий приведены в табл. 5.

4. *Обсуждение результатов.* Спектры галактик NGC 972 и NGC 4433 во многом похожи друг на друга. Они состоят из интенсивного неоднородного по высоте непрерывного спектра, пересеченного рядом линий излучения и поглощения. Эмиссионный линейчатый спектр напоминает спектры газовых туманностей. В абсорбционном спектре хорошо выделяются вы-

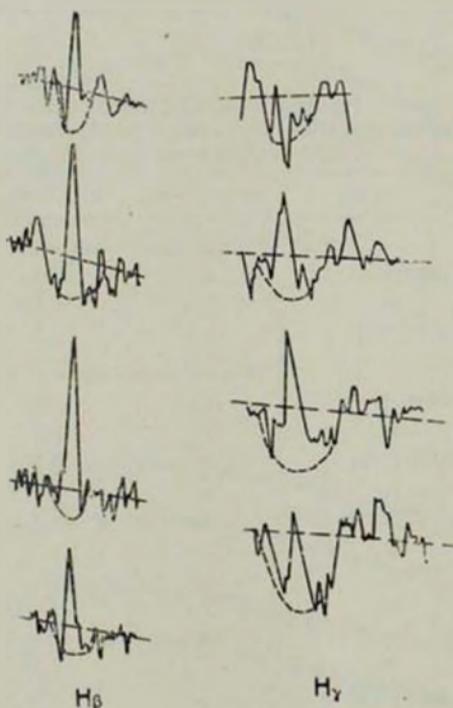


Рис. 5. Профили линий H_{δ} и H_{γ} в четырех сечениях спектра NGC 4433.

сокие члены бальмеровской серии водорода, линии H и K Ca II и D Na. Сравнение полученных нами эквивалентных ширин с результатами работы Гюнтера [17] показывает, что эти линии могли образоваться в атмосферах звезд сравнительно ранних спектральных классов (A—F—G). На основании этого можно предположить, что в NGC 972 и NGC 4433 доминируют звезды указанных спектральных классов.

При допущении, что линии поглощения имеют звездное происхождение, спектры галактик NGC 972 и NGC 4433 можно представить как наложение спектров звезд ранних спектральных классов и больших комплексов

газовой материи. Судя по отсутствию линий N_1 и N_2 в спектре NGC 972 и линии N_1 в спектре NGC 4433, степень возбуждения газовых облаков низка в обеих галактиках. Об этом свидетельствует также большое значение отношения $I_{\text{з.т.}}/I_{H\beta}$ (табл. 3—5). Значения этого отношения, вероятно, искажены вследствие поглощения в самих галактиках, но поправка только усилила бы результат.

Таблица 5

ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ИНТЕНСИВНОСТИ И ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ ГАЛАКТИКИ NGC 4433

Линия	I сечение	II сечение	III сечение	IV сечение
Относительные интенсивности				
5007 [O III] λ	—	0.5	0.3	0.3
H_{α} λ	1.0	1.0	1.0	1.0
H_{β} λ	0.2	0.2	0.2	0.4
H_{γ} λ	0.1	0.1	0.1	0.2
3727 [O II] λ	1.2	1.6	1.6	1.6
Эквивалентные ширины (Å)				
5007 [O III] λ	—	5.3	2.9	1.7
H_{α} λ	7.6	15.9	15.4	8.7
H_{β} λ	4.2	8.1	3.2	5.4
H_{γ} λ	1.7	3.4	4.5	4.4
H_{δ} λ	3.4	3.6	4.5	7.7
H_{ϵ} λ	0.5	1.6	1.5	2.6
H_{ζ} λ	4.2	4.8	7.2	8.8
H_{η} H Ca II	7.5	4.5	7.9	7.2
K Ca II	8.6	3.8	7.4	7.7
H_{θ}	6.7	4.9	7.0	5.4
H_{ι}	6.1	2.8	6.9	8.2
H_{κ}	1.4	1.9	0.9	2.0
H_{λ}	0.7	2.4	1.3	2.3
H_{μ}	0.4	1.5	2.8	2.1
3727 [O II] λ	6.5	10.1	18.1	10.2

Невидимому, нет больших относительных движений звезд и облаков газа, так как лучевые скорости, определенные по линиям излучения и поглощения, примерно одинаковы (для NGC 972 см. табл. 2, а для NGC 4433 — работу [14]). Возможно, что звезды, ответственные за линии поглощения, и газ встречаются совместно, образуя звездные ассоциации. Как отмечено выше, отношение интенсивностей линий H_{α} и 6583 [N II] для всех смещений этих линий в спектре NGC 972 больше единицы, а

среднем оно порядка трех. Такое значение для отношения $I_{H\alpha}/I_{6583}$ Бербидж и др. получили для рукавов спиральных галактик [16], которые, как хорошо известно, населены звездными ассоциациями и вообще первым типом звездного населения. Полученные нами значения $I_{H\alpha}/I_{6583}$ могут послужить аргументом в пользу того, что в NGC 972 основную роль играют представители плоской составляющей звездного населения.

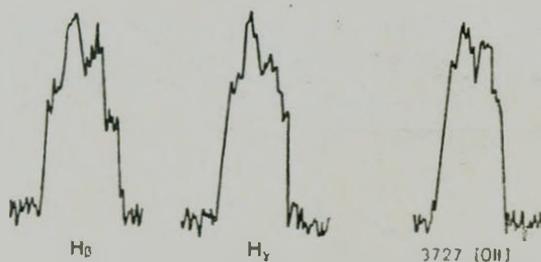


Рис. 6. Регистрограммы эмиссионных линий $H\beta$, $H\gamma$ и 3727 [O II] в спектре NGC 4433 по высоте щели.

Возможно также, что ранний спектр поглощения образуется в межзвездной среде галактик NGC 972 и NGC 4433, вследствие поглощения атомами, находящимися в метастабильном состоянии $2s$ водорода, среднее время жизни которого очень велико по сравнению со временем жизни $2p$ -состояния ($1.6 \cdot 10^{-9}$ с). Такая возможность была отмечена в работе [1]. Как раз в случае NGC 972 и NGC 4433 центральные частоты линий излучения и поглощения совпадают, что и должно было наблюдаться, когда линии возникают в кинематически одинаковых условиях. Конечно, анализ физических условий, при которых могли бы возникнуть межзвездные линии поглощения, является предметом отдельного детального изучения.

Выше было отмечено что в непрерывных спектрах NGC 972 и NGC 4433 выделяются яркие полосы вдоль дисперсии, не совпадающие со сгущениями в линиях излучения. Сопоставление прямых фотографий NGC 972 с ее спектром показывает, что две яркие полосы, выявленные нами в непрерывном спектре, принадлежат сгусткам, отмеченным в [5] и [6]. Следует отметить, что области, сильно излучающие в непрерывном спектре, пространственно отделены от областей, излучающих, в основном, в эмиссионных линиях, так как области с более яркими эмиссионными линиями в спектре не совпадают с местами повышенной плотности звезд. Судя по ширине ярких непрерывных полосок, линейные размеры областей, сильно излучающих в непрерывном спектре, порядка 600 пс. Уверенно судить о природе этих областей пока трудно.

Отметим, что в NGC 972 и NGC 4433 мы не обнаружили явных следов взрыва, хотя Хромей указывает на наличие нециклических движений в NGC 4433 [12].

Таким образом, NGC 972 и NGC 4433 отличаются от нормальных спиральных галактик аномально большим содержанием газовой пыли, чем, вероятно, и можно объяснить их цветовые и спектральные особенности.

Один из авторов (Э. Е. Х.) выражает благодарность директорам МакДональдской обсерватории и обсерватории Хейл за предоставленную возможность наблюдать на больших телескопах этих обсерваторий.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

SPECTROPHOTOMETRIC STUDIES OF M82 TYPE IRREGULAR GALAXIES. II. NGC 972 AND NGC 4433

N. K. ANDREASSIAN, E. Ye. KHACHIKIAN

The results of detail spectrophotometry of galaxies NGC 972 and NGC 4433 are presented. The spectra were taken on the 107' telescope of the McDonald observatory with the UVITS spectrograph (dispersion 225 \AA mm^{-1}) and on the 200" telescope of Hale observatories with the Cassegrain image tube Spectrograph (dispersion 85 \AA mm^{-1}). The line intensities and equivalent widths of the spectral lines of NGC 972 and NGC 4433 have been derived. The presence of early type stars and of low density and low excitation of gaseous nebulae in these galaxies is suggested. The existence of superassociations composed of stars and gaseous nebulae in NGC 972 and NGC 4433 is assumed.

ЛИТЕРАТУРА

1. Э. Е. Хачикян, Астрофизика, 9, 197, 1973.
2. A. Sandage, The Hubble Atlas of Galaxies, Carnegie Institute of Washington, 1961.
3. Б. Е. Маркарян, Сообщ. Бюраканской обс., 34, 19, 1963.
4. E. Pettit, Ap. J., 120, 413, 1954.
5. P. L. Bernacca, F. Bertola, Asiago Contr., 214, 1969.
6. М. Н. Демюлин, М. Витон, В. Георгалли, в сб. „Нестационарные явления в галактиках“, Изд. АН Арм.ССР, Ереван, 1968, стр. 434.
7. B. T. Linds, Ap. J., Suppl. ser., 28, 391, 1974.
8. E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, K. H. Prendergast, Ap. J., 142, 619, 1965.
9. B. Takase, H. Kinoshita, P. A. S. Japan, 19, 403, 1967.

10. *S. M. Roberts*, *A. J.*, 74, 859, 1969.
11. *E. Holmberg*, *Ann. Lund Obs.*, 6, 1937.
12. *F. R. Chromey*, *Astron. Astrophys.*, 31, 165, 1974.
13. *Г. М. Товмасян*, *Астрофизика*, 2, 235, 1966.
14. *Э. Е. Хачикян, Г. А. Паносян*, *Астрон. цирк.*, 698, 1, 1972.
15. *O. K. Krienk Jr., P. W. Hodge*, *A. J.*, 79, 1242, 1974.
16. *E. M. Burbidge, G. R. Burbidge*, *Ap. J.*, 142, 634, 1965.
17. *S. Gunther*, *Z. Astrophys.*, 7, 106, 1933.