

УДК 524.7—355

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ИРРЕГУЛЯРНОЙ ГАЛАКТИКИ NGC 2814

Н. К. АНДРЕАСЯН

Поступила 22 сентября 1982

Принята к печати 6 ноября 1982

Представлены результаты спектрофотометрического исследования двух наиболее ярких сгущений в галактике NGC 2814. Спектры получены на 2.6-м телескопе КрАО (дисперсия ≈ 100 А/мм) и на 6-м телескопе САО АН СССР (дисперсия ≈ 65 А/мм). Условия ионизации и возбуждения в сгущениях NGC 2814 похожи на таковые в нормальных H II областях. Определены электронные плотности и электронные концентрации ионизованного газа: $T_e \approx 10^4$ К; $N_e \approx 380$ см⁻³ в центральном сгущении и $T_e \approx 7.7 \cdot 10^3$ К; $N_e \approx 260$ см⁻³ в северном. Внутреннее поглощение в центральной области, по-видимому, порядка 1.87 , в северном же сгущении заметное внутреннее поглощение не обнаруживается. По химическому составу северное сгущение не отличается заметно от галактических H II областей, а в центральной области есть некоторый дефицит тяжелых элементов. Делается заключение о присутствии очагов звездообразования в NGC 2814.

1. *Введение.* NGC 2814 — одна из четырех галактик, составляющих группу Но 124, главным членом которой является большая спиральная галактика NGC 2805 [1]. По морфологическим признакам NGC 2814 отнесена к классу Iг II или, что то же самое, 10 по Вокулеру [2, 3]. На прямых фотографиях этой галактики обнаруживаются три сгущения, и кривая вращения имеет необычный изгиб в участке, соответствующем сгущению, находящемуся на расстоянии $8''$ к северу от центра галактики [4]. На основании спектроскопических данных и на анализе кривой вращения в работе [4] делается предположение о том, что северное сгущение является гигантской H II областью, которая, вероятно, вращается автономно. Для дальнейшего выяснения характера излучающих областей NGC 2814 проведена спектрофотометрия этой галактики. Результаты приводятся в настоящей статье.

2. *Наблюдательный материал.* Для спектрофотометрии использованы десять спектрограмм галактики NGC 2814, полученные в фокусе Несмита ЭТШ Крымской обсерватории с дифракционным спектрографом и ЭОП

типа УМ-92, а также в первичном фокусе БТА Специальной астрофизической обсерватории АН СССР со спектрографом СП-160 и ЭОП типа М9Ц-В.

На ЭТШ, 23.3 и 24.3.1979 г., получены шесть спектрограмм NGC 2814 с дисперсией примерно 100 А/мм, спектральное разрешение около 6 А, ширина щели спектрографа во время наблюдений была равна 1."85. Снимались две области спектра, центрированные на линии H_α и H_β .

На БТА получены четыре спектрограммы NGC 2814, охватывающие области спектра 3700—5050 А, 4800—6000 А и 5800—7000 А, средняя дисперсия 65 А/мм, спектральное разрешение примерно 5 А. Более подробные сведения об этих спектрах можно найти в работе [4]. Все использованные для спектрофотометрии спектрограммы получены при ориентировке щели спектрографа вдоль большой оси галактики. На рис. 1 показаны репродукции спектрограмм галактики NGC 2814, полученные на БТА (область 5800—7000 А) и на ЭТШ (область около линии H_β).

Для калибровки спектральной чувствительности системы БТА наблюдались стандартные звезды Feige 34 и HZ 15, спектрофотометрические данные о которых приведены в работе [5]. Кривые спектральной чувствительности системы ЭТШ со спектрографом и ЭОП построены по спектрам стандартных звезд, любезно предоставленным К. К. Чуваевым.

Непрерывный спектр северного сгущения слаб и в основном недодержан, поэтому, во избежание больших фотометрических ошибок, характеристические кривые построены в виде зависимости $I = f(\omega)$, которая остается прямолинейной и при низких плотностях почернения [6]. Величина ω выражается через плотность почернения формулой

$$\omega = \lg(10I^D - 1).$$

Поправки за покраснение вычислены по формуле

$$\lg(I_\lambda/I_{H_\beta})_{\text{испр.}} = \lg(I_\lambda/I_{H_\beta})_{\text{набл.}} + C(H_\beta)f(\lambda).$$

Функция $f(\lambda)$ для нормального закона поглощения затабулирована в работе [7], а коэффициенты $C(H_\beta)$ вычислены путем сравнения наблюдаемого бальмеровского декремента с теоретическим в предположении, что бальмеровские линии имеют рекомбинационное происхождение. Теоретическое значение бальмеровского декремента (случай В, $T_e = 10^4$) приведены в работе [8].

Спектрограммы записаны с помощью микрофотометра ИФО-451 по двум сечениям, соответствующим двум областям NGC 2814 — центральной части и северному сгущению. Эти области обозначены буквами «А» и «В» на рис. 2, где показаны изоденсы галактики в U, B и V цветах. Изоденсы построены с помощью микроденситометра PDS-1010 на факсимильном

устройстве «Штрих-М» по фотографиям, полученным в первичном фокусе 2,6-м телескопа Бюраканской обсерватории. *UBV*-система осуществилась следующим сочетанием пластинок и фильтров: *U* — ORWO Zu 21 + УФС-3; *B* — ORWO Zu 21 + ВС-3; *V* — Kodak 103a D + ЖС-18. Эта система не воспроизводит в точности международную *UBV*-систему, но близка к ней. Экспозиции при наблюдениях были 50, 40 и 45 мин, соответственно в *U*, *B* и *V* цветах. Градация плотностей одинакова на рис. 2 во всех трех цветах.

3. *Результаты наблюдений.* На рис. 2 отчетливо видны три конденсации, отмеченные в [4]. Примечательно, что в *V* цвете северная конденсация почти не заметна. Спектры северного и центрального сгущений на спектрограммах четко разделяются друг от друга и фотометрированы отдельно. В обоих спектрах наблюдаются одни и те же линии, однако линии H_{γ} и H_{δ} в спектре северного сгущения наблюдаются в эмиссии, а в спектре центральной области — в абсорбции. Эмиссионные линии в обоих спектрах широкие, профили линий инструментальные. В табл. 1 приведены наблю-

Таблица 1

ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ И ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ИНТЕНСИВНОСТИ
ЛИНИЙ В СПЕКТРЕ ГАЛАКТИКИ NGC 2814

Линия	А			В		
	<i>W</i>	$(I_{\lambda}/I_{H_{\beta}})_{\text{набл.}}$	$(I_{\lambda}/I_{H_{\beta}})_{\text{испр.}}$	<i>W</i>	$(I_{\lambda}/I_{H_{\beta}})_{\text{набл.}}$	$(I_{\lambda}/I_{H_{\beta}})_{\text{испр.}}$
6731 [S II]	6.20	0.83	0.34	32.01	0.32	0.27
6717 [S II]	7.11	0.93	0.39	38.07	0.37	0.32
6584 [N II]	7.61	1.19	0.54	36.42	0.42	0.36
6563 H_{α}	41.00	6.25	2.87	251.32	3.30	2.87
6548 [N II]	1.38:	0.38:	0.18:	13.05	0.16	0.13
5007 [O III]	9.08	2.12	1.95	62.30	1.47	1.44
4959 [O III]	3.18	0.71	0.67	22.41	0.53	0.32
4861 H_{β}	3.95	1.00	1.00	38.03	1.00	1.00
4340 H_{γ}	—	—	—	21.04	0.44	0.46
4340 H_{γ} а	1.34:	—	—	—	—	—
4102 H_{δ}	—	—	—	1.87	0.11	0.12
4102 H_{δ} а	0.93:	—	—	—	—	—
3727 [O II]	11.67	3.45	6.48	50.61	1.57	1.77
C (H_{β})		0.91			0.16	

даемые и исправленные за покраснение значения относительных интенсивностей и эквивалентных ширин спектральных линий областей А и В, усредненные по всем спектрограммам. В последней строке таблицы приведены значения логарифмического коэффициента покраснения в линии H_{β} .

Ошибка определения относительных интенсивностей в среднем порядка 10—15%, а для самых слабых линий достигает 25—30%, такие значения в таблице отмечены двоеточием. Буквой «а» в таблице обозначены абсорбционные линии.

Некоторые важные спектрофотметрические данные для рассматриваемых областей приведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметр	А	В
Индекс возбуждения $r = I([\text{O III}]) / I([\text{O II}])$	0.37	1.10
Индикатор T_e $I([\text{O III}] + [\text{O II}]) / I(\text{H}\beta)$	6.80	3.73
Индикатор T_e $I([\text{O III}]) / I([\text{N II}])$	3.64	4.00
Индикатор N_e $I([\text{S II}] 6717) / I([\text{S II}] 6731)$	1.15	1.18
$I(\text{H}\alpha) / I([\text{N II}])$	3.58	5.85

Степень возбуждения обеих областей, как видно из табл. 2, невысокая, такое возбуждение могло бы вызываться излучением горячих звезд. Отношение $I(\text{H}\alpha) / I([\text{N II}])$ в основном зависит от химического состава и механизма ионизации — при фотоионизации и нормальном химическом составе $I(\text{H}\alpha) / I([\text{N II}])$ порядка трех [9]. Приведенные в табл. 2 значения этого отношения характерны для рукавов спиральных галактик, ядерных же областях они уменьшаются до значений меньше единицы [10, 11].

4. *Механизм ионизации и физические условия.* Как видно из табл. 2, наблюдаемый бальмеровский декремент области А значительно круче, чем в области В, что, вообще говоря, может быть обусловлено разными механизмами ионизации или различиями в поглощении. Наблюдаемый бальмеровский декремент области В соответствует механизму фотоионизации под влиянием излучения горячих звезд, причем внутреннего поглощения практически нет и бальмеровский декремент искажен только галактическим поглощением ($C = 0.16$).

Большую крутизну бальмеровского декремента в области А можно попытаться объяснить либо действием механизма ионизации под влиянием ударов тепловых электронов, либо поглощением в самой галактике при механизме фотоионизации. Однако при ионизации ударами тепловых электронов, наряду с линиями $[\text{O II}] \lambda 3727$ и $[\text{O III}] \lambda 5007, 4959$, наблюдались бы линии $[\text{O I}] \lambda 6300, 6364$, причем интенсивность последних была бы больше или, по крайней мере, порядка интенсивностей линий $[\text{O II}]$ и $[\text{O III}]$ при любом подборе электронной температуры и плотности излучающей среды [12, 13]. Линии O I в спектре NGC 2814 не обнаруживаются

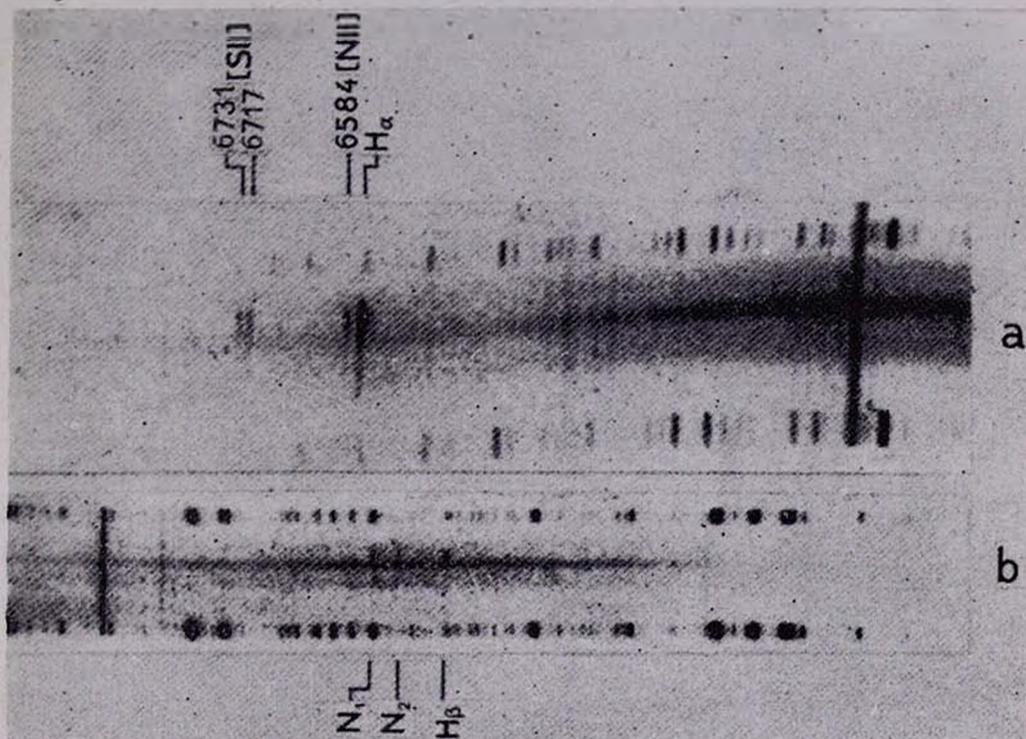


Рис. 1. Спектр галактики NGC 2814: а) область 5800—7000 Å, получен в первом фокусе БТА, б) область скола линии H β , получен в фокусе Несмита ЭТШ.

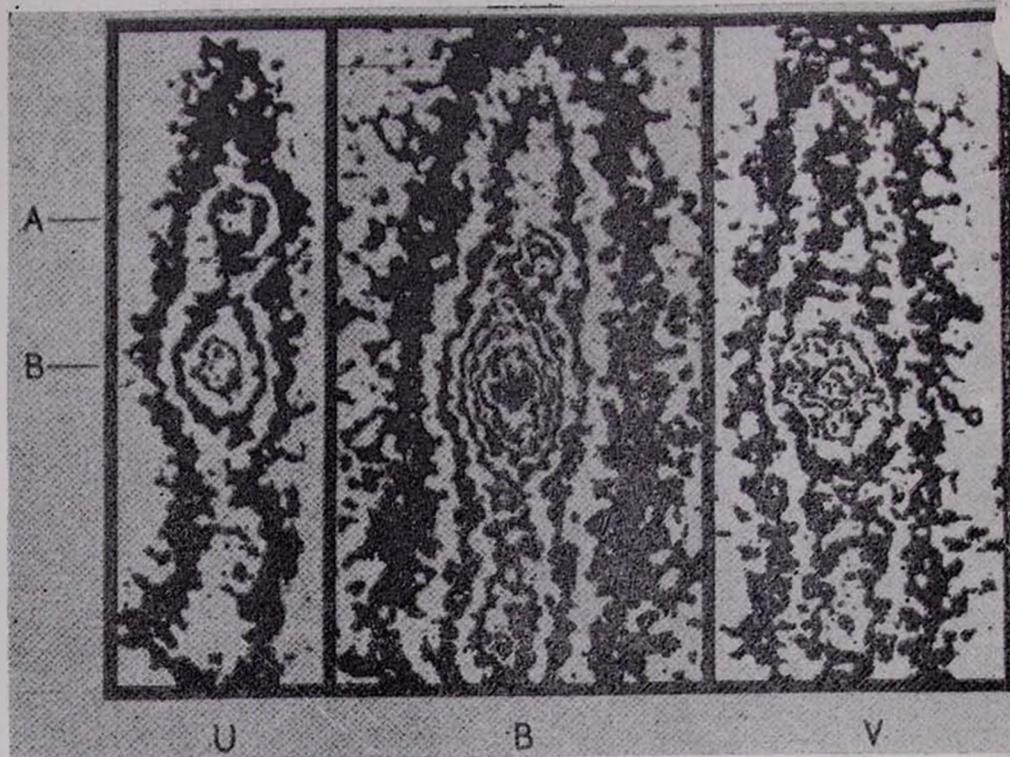


Рис. 2. Изоденсы галактики NGC 2814 в UBV цветах, масштаб $\sim ''/\text{мм}$, север сверху.

К ст. Н. К. Андрасян

и, кроме того, на классификационных диаграммах, приведенных в работе Болдуина и др. [14], точки, соответствующие сгущениям А и В, попадают в область «нормальных» Н II областей. Таким образом, можно считать, что в области А, как и в области В, ионизация происходит под влиянием излучения горячих звезд, а бальмеровский декремент в области А искажен в основном внутренним поглощением. Судя по логарифмическому коэффициенту покраснения (табл. 1), влияние поглощения в центральной области NGC 2814 достигает значения 1^{m87} в линии H_{β} .

По эквивалентной ширине линии H_{β} и цвету Н II области можно приблизительно оценить эффективную температуру ионизирующих газ звезд [15, 16]. Для центральной и северной областей NGC 2814 получаются $2.5 \cdot 10^4 \text{ K} < T_{\text{эфф.}} \leq 3 \cdot 10^4 \text{ K}$ и $3 \cdot 10^4 \text{ K} \leq T_{\text{эфф.}} < 3.5 \cdot 10^4 \text{ K}$ соответственно.

В спектрах обеих областей авроральные линии не наблюдаются, и непосредственно определить электронную температуру этих областей невозможно. Поэтому для определения электронной температуры использованы эмпирические корреляции между электронной температурой и отношениями интенсивностей линий $[O III] + [O II] / H_{\beta}$ и $[O III] / [N II]$, приведенных в работах [17] и [18] соответственно. Для электронной температуры взяты средневзвешенные определенных по этим двум методам значений. Метод $[O III] / [N II]$ предполагает нормальный химический состав и при отклонении химического состава от нормального он неточен [19]. В областях А и В, как будет показано ниже, отношение N/O ниже нормального, что приводит к заниженным значениям T_e при использовании метода $[O III] / [N II]$. Поэтому этим значениям T_e придано меньше веса. Для электронной температуры центрального и северного сгущений получаются значения $1 \cdot 10^4 \text{ K} \pm 280$ и $7.7 \cdot 10^3 \text{ K} \pm 160$ соответственно.

Для определения электронной плотности использованы результаты работы [20], где приведены значения отношения интенсивностей линий $[S II] \lambda 6717$ и 6731 для разных плотностей с учетом новых данных о силах столкновений для иона S^+ . Для центрального и северного сгущений получаются значения $3.8 \cdot 10^2 \text{ см}^{-3}$ и $2.6 \cdot 10^2 \text{ см}^{-3}$ соответственно. Такие значения плотности характерны для периферийных областей спиральных галактик и для ярких сгущений в иррегулярных галактиках [21, 22], в ядерных же областях спиральных галактик и иррегулярных галактик с УФ-эксцессом электронная плотность порядка 10^3 см^{-3} [23, 24].

5. *Химический состав.* Относительное содержание различных ионов можно определить исходя из относительных интенсивностей линий этих ионов. Соответствующие формулы для ионов O^+ , O^{++} и N^+ приведены в работе [25]. Для определения же содержания S^+ нами использованы новые атомные данные [26].

Индекс возбуждения в обеих областях NGC 2814 сравнительно невелик (табл. 2), и можно предположить, что в этих областях нет какого-либо значительного количества кислорода в более высокоионизованном состоянии, чем O^{++} . Кроме того, потенциал ионизации Н и О почти одинаков, и можно принять, что относительное количество нейтрального водорода существенно не отличается от относительного количества нейтрального кислорода. Относительное содержание кислорода в таком случае можно определить по формуле

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

Азот наблюдается только в однократно ионизованном состоянии, но так как потенциалы ионизации O^0 , O^+ , O^{++} и N^0 , N^+ , N^{++} примерно одинаковы, можно принять, что

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

Наблюдаемая нами спектральная область не охватывает линии [S III] λ 9069 и 9032, и определить относительное количество ионов S^{++} в данном случае невозможно. При таких обстоятельствах содержание серы можно определить по эмпирическому соотношению, приведенному в работе [27],

$$2.5 \frac{N(S^+)}{N(S)} = \left[\frac{N(O^+)}{N(O)} \right]^2$$

В табл. 3 приведены значения относительного содержания ионов O^+ , O^{++} , N^+ , S^+ , логарифмы количества атомов О, N, S при $\lg H = 12$ и величины $[X/H] = \lg(X/H) - \lg(X/H)_{\text{Орион}}$ для сравнения химического состава рассматриваемых областей NGC 2814 с химическим составом туманности Ориона. Данные о химическом составе туманности Ориона взяты из работы [28]. Следует отметить, что при определении химического состава температурные флуктуации в излучающих областях не учитывались.

Как видно из табл. 3, в центральной области NGC 2814 имеется небольшой, но ощутимый дефицит тяжелых элементов по сравнению с туманностью Ориона. Небольшой дефицит в содержании азота и серы наблюдается также в северном сгущении, но вообще химический состав северного сгущения не сильно отличается от химического состава галактических H II областей, приведенного в работе [29]. Химический состав обеих областей NGC 2814 в общем типичен для изолированных внегалактических

Н II областей, для галактик с УФ-аксцессом и иррегулярных галактик с областями активного звездообразования [22, 30, 31].

Таблица 3

	В	А
O^1/H^+	$2.62 \cdot 10^{-4}$	$2.52 \cdot 10^{-4}$
O^{++}/H^+	$6.59 \cdot 10^{-5}$	$1.08 \cdot 10^{-4}$
N(O)	8.52	8.56
[O/H]	-0.17	0.04
N^+/H^+	$0.90 \cdot 10^{-5}$	$1.12 \cdot 10^{-5}$
N(N)	7.05	7.20
[N/H]	-0.52	-0.37
S^+/H^+	$0.15 \cdot 10^{-5}$	$0.27 \cdot 10^{-5}$
N(S)	6.76	7.19
[S/H]	-0.43	-0.14

6. *Обсуждение результатов.* Физические условия в областях А и В галактики NGC 2814 похожи на таковые во внегалактических Н II областях, наблюдающихся в рукавах спиральных галактик. Спектральные характеристики обеих областей можно объяснить в рамках механизма фотоионизации. Эффективная температура ионизирующих газ звезд соответствует звездам классов В0-В1 в области А и О8-О9 в области В. Интенсивный континуум в видимой части спектров и наличие абсорбционных линий в области А, по-видимому, свидетельствуют о присутствии значительного количества звезд более поздних спектральных классов в этой области. Не исключено также участие в образовании непрерывного спектра области А излучения ядра галактики. В случае же области В, вероятно, имеем дело с «чистой» Н II областью.

Наблюдается некоторый дефицит содержания тяжелых элементов в обеих областях, который особенно ощутим в центральной области, а отношение N/O в северной, более удаленной от центра области, меньше чем в центральной. В центральной области причина дефицита тяжелых элементов могла бы быть связана с присутствием в этой области значительного количества поглощающей материи ($A_{H\beta} = 1.87$), в частицах которой может быть «спрятана» некоторая часть атомов тяжелых элементов [32, 33].

Бальмеровский декремент в северной области искажен только межзвездным поглощением. По-видимому, количество экранирующей пыли в этой области сравнительно небольшое, а сама область находится близко к внешней границе галактики. Последний вывод не противоречит предполо-

жению, сделанному в [4] о том, что северная H II область, возможно, является внешним компонентом галактики NGC 2814.

Конденсация в центральной области NGC 2814, по-видимому, представляет собой эмиссионную ядерную область низкого возбуждения. Такое свойство центрального сгущения часто наблюдается в спиральных галактиках, причем чаще в спиральных галактиках с перемычкой, чем в нормальных спиралях. Этот факт, согласно [34], свидетельствует о более активном звездообразовании в SB-галактиках. Возможно, как отмечено в [35], NGC 2814 является SBb-галактикой, видимой с ребра. Во всяком случае, результаты настоящей работы не противоречат этому. По-видимому, галактику NGC 2814 можно назвать активной в смысле присутствия в ней очагов звездообразования.

Автор выражает глубокую благодарность академику В. А. Амбарцумяну за полезные замечания, проф. Э. Е. Хачикяну за дискуссию. К. К. Чуваеву, А. Н. Буренкову и А. С. Амирханяну за помощь при наблюдениях.

Бюряканская астрофизическая
обсерватория

SPECTROPHOTOMETRIC INVESTIGATION OF THE IRREGULAR GALAXY NGC 2814

N. K. ANDREASIAN

The results of the spectrophotometric investigation of the two most luminous condensations in the galaxy NGC 2814 are presented. Spectra were obtained on the 2.6 m telescope of the Crimean Observatory (dispersion 100 Å/mm) and the 6 m telescope of the Special Astrophysical Observatory (dispersion 65 Å/mm).

Ionisation and excitation conditions in NGC 2814 condensations are like those in normal H II Regions. Electron temperatures and electron densities of ionised gas are estimated: $T_e \approx 10^4$ K, $N_e \approx 380 \text{ cm}^{-3}$ in the central condensations and $T_e \approx 7.7 \cdot 10^3$ K, $N_e \approx 260 \text{ cm}^{-3}$ in the northern ones. Internal absorption in the central region of the galaxy is 1.87 near the H_β line. We find no evidence of internal absorption in the Northern condensations. Chemical abundance of the Northern condensation are comparable to that of the galactic H II regions while the central region is metal deficient. Conclusion about the presence of star formation centered in NGC 2814 is made.

ЛИТЕРАТУРА

1. *E. Holmberg*, *Ann. Lund Obs.*, No. 6, 1937.
2. *O. K. Krtienke Jr., P. W. Hodge*, *A. J.*, 79, 1242, 1974.
3. *G. de Vaucouleurs*, *Ap. J. Suppl. ser.*, 8, 31, 1963.
4. *Н. К. Андреевский, Э. Е. Хачикян*, *Астрофизика* (в печати).
5. *R. P. Stone*, *Ap. J.*, 218, 767, 1977.
6. *G. de Vaucouleurs*, *Appl. Optics*, 7, 1513, 1968.
7. *M. F. Seaton*, *Rept. Progr. Phys.*, 23, 324, 1960.
8. *M. Brocklehurst*, *M. N. RAS*, 153, 471, 1971.
9. *D. E. Osterbrock*, *Nuclei of Galaxies*, ed. D. J. K. O'Connell, New York, 1971.
10. *E. M. Burbidge, G. R. Burbidge*, *Ap. J.*, 135, 694, 1962.
11. *E. M. Burbidge, G. R. Burbidge*, *Ap. J.*, 142, 634, 1965.
12. *D. P. Cox, W. H. Tucker*, *Ap. J.*, 107, 1157, 1969.
13. *S. M. Aldrovandi, D. Peguinot*, *Astron. Astrophys.*, 26, 33, 1973.
14. *J. A. Baldwin, M. M. Phillips, R. Terlevitch*, *P.A.S.P.*, 93, 5, 1981.
15. *L. Searl*, *Ap. J.*, 168, 327, 1971.
16. *G. A. Shields, B. M. Tinsley*, *Ap. J.*, 203, 66, 1976.
17. *B. E. Pagle, M. E. Edmunds, D. E. Bluckwell, M. S. Chun, G. Smith*, *M. N. RAS*, 189, 95, 1979.
18. *D. Alloin, S. Collin-Souffrin, M. Joly, L. Vigroux*, *Astron. Astrophys.*, 78, 200, 1979.
19. *G. Stasinska, D. Alloin, S. Collin-Souffrin, M. Joly*, *ESO Prepr. No. 96*, 1980.
20. *И. В. Носов*, *Астрон. цирку.*, № 1050, 1975.
21. *H. E. Smith*, *Ap. J.*, 199, 591, 1975.
22. *J. Lequeux, M. Peimbert, J. F. Rayo, A. Serrano, S. Torres-Peimbert*, *Astron. Astrophys.*, 80, 155, 1979.
23. *D. Alloin, J. Bergeron, D. Pelat*, *Astron. Astrophys.*, 26, 33, 1973.
24. *T. M. Heckman*, *Astron. Astrophys.*, 87, 142, 1980.
25. *M. Peimbert, R. Costero*, *Bol. Obs. Tonantzintla*, 5, 3, 1969.
26. *A. K. Pradhan*, *M. N. RAS*, 184, 89P, 1978.
27. *G. Stasinska*, *Astron. Astrophys.*, 66, 257, 1978.
28. *M. Peimbert, S. Torres-Peimbert*, *M. N. RAS*, 179, 217, 1977.
29. *S. A. Hawley*, *Ap. J.*, 224, 417, 1978.
30. *Y. Taniuchi, Sh. Tamura*, *Preprint*.
31. *A. M. Boesgaard, S. Edwards, J. Heidmann*, *Ap. J.*, 252, 487, 1982.
32. *D. Alloin*, *Astron. Astrophys.*, 9, 45, 1970.
33. *M. Peimbert*, *Ap. J.*, 154, 33, 1968.
34. *T. M. Heckman*, *Astron. Astrophys.*, 89, 365, 1980.
35. *A. G. Bosma, S. Casini, J. Heidmann, J. M. van de Hulst, H. van Voerden*, *Astron. Astrophys.*, 89, 345, 1980.