

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 15

АВГУСТ, 1979

ВЫПУСК 3

УДК 523.855

ФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ЯДРАХ СЕЙФЕРТОВСКИХ ГАЛАКТИК ТИПА 1

Г. Т. ПЕТРОВ

Поступила 30 марта 1978

По результатам спектрофотометрии Остерброка единым методом определены электронные плотности и температуры в ядрах 36 сейфертовских галактик типа 1 и 5 радиогалактик. Показано, что в зонах свечения иона O^{+} всех исследованных объектов температуры близки к 10 000 К, а плотности — к $5 \cdot 10^6 \text{ см}^{-3}$. При этом дисперсии обоих упомянутых параметров чрезвычайно малы. Разброс значений тех же параметров в зонах свечения иона O^{+} существенно больше.

1. Введение. В статьях [1, 2] рассматривались зависимости эквивалентных ширины водородных и запрещенных линий сейфертовских галактик от показателя цвета ($U-B$), и абсолютной величины M_U и аналогичные зависимости для потоков и светимостей в тех же линиях. В [1] сейфертовские галактики были рассмотрены безотносительно к их типу, а в [2] рассматривались лишь галактики типа 1. Полученные зависимости указывают на то, что интенсивность водородных линий увеличивается с уменьшением показателя цвета $U-B$, а интенсивность запрещенных линий $[O III] \lambda\lambda 4959, 5007$ убывает, если галактики обоих типов рассматриваются совместно, и практически не зависит от показателя цвета, если рассматриваются лишь галактики типа 1. Как возможное объяснение этого факта в [1, 2] было высказано предположение, что линии $[O III]$ у сейфертовских галактик типа 1 возникают в областях со сравнительно высокой электронной плотностью.

Для проверки этого предположения могут быть использованы опубликованные Д. Е. Остерброком [3] данные об интенсивностях эмиссионных линий 41 галактики с широкими эмиссионными линиями (36 сейфертовских галактик и 5 радиогалактик). В их число входит большинство галактик, рассмотренных в [1] и [2].

Эквивалентные ширины, определенные в [2] по спектрам, предоставленным Д. В. Видманом, в большинстве случаев отличаются от данных, приведенных в [3] на 0.1—0.2 (логарифмическая шкала). Лишь в нескольких случаях различие достигает 0.5.

Зависимости эквивалентной ширины линии H_{β} , а также относительных интенсивностей линий [O II], [O III], [N II] и [S II] от показателя цвета $U-B$ по данным Д. Е. Остерброка иллюстрируются в табл. 1, где для разных линий приведены угловые коэффициенты этих зависимостей, а также коэффициенты корреляции. Как видим, для линий H_{β} и [O III] они мало отличаются от соответствующих зависимостей, приведенных в [2]. Подобный характер зависимости, как отмечалось, был интерпретирован в [1] и [2] 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 угловых коэффициентов, а также коэффициентов корреляции, характеризующих зависимость их интенсивностей от показателя цвета.

В настоящей работе для проверки указанной интерпретации с помощью данных Остерброка определены физические условия в ядрах ряда сейфертовских галактик типа 1 и радиогалактик.

Таблица 1

	$\lg W_{H_{\beta}}$	$\lg \frac{I_{[OIII]}}{I_{H_{\beta}}}$	$\lg \frac{I_{[OII]}}{I_{H_{\beta}}}$	$\lg \frac{I_{[NII]}}{I_{H_{\beta}}}$	$\lg \frac{I_{[SII]}}{I_{H_{\beta}}}$
<i>a</i>	-0.38 ± 0.15	0.41 ± 0.23	0.70 ± 0.35	0.75 ± 0.39	1.00 ± 0.33
<i>r</i>	-0.43 ± 0.14	0.26 ± 0.16	0.37 ± 0.16	0.38 ± 0.18	0.39 ± 0.14

2. *Физические условия в ядрах сейфертовских галактик типа 1.* Для определения физических условий в ядрах галактик Сейферта мы применили метод пересечения кривых Ситона [4] в варианте, предложенном в [5] Боярчуком и др. При этом, следуя [6], мы предполагали, что во всех объектах схематически существуют три зоны — H, [O III] и [O II]. В зоне [O III] светятся ионы O^{++} , Ar^{+} , 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^{+6} . Естественно, в каждом отдельном случае может иметь место известное отклонение от предложенной схемы, то есть некоторые зоны могут сосуществовать или отсутствовать совсем. Подобная многокомпонентная модель впервые количественно рассматривалась Нойгебауером и др. [6].

Рассмотрим сначала физические условия в зоне [O III]. Так как в [3] нет данных о линиях [Ne III] $\lambda\lambda$ 3343, 3869, 3968, то мы не можем непосредственно применить метод Ситоца для независимого определения n_e и T_e . Единственной кривой равных отношений, которую мы можем использовать, является $I_{\lambda 4363}/(I_{\lambda 4959} + I_{\lambda 5007}) = \text{const}$ для [O III]. Поэтому мы вынуждены принять определенный химический состав и степень ионизации. Химический состав был принят нами в соответствии с моделями 1, 2 и 3 Давидсона [7]. Что касается степени ионизации, то, следуя [5] и [8], примем для водорода $N(\text{H II})/N(\text{H I}) = 0.5$ и рассмотрим три значения степени ионизации кислорода:

$$N(\text{O III})/N(\text{O I}) = 0.50, 0.75 \text{ и } 0.90.$$

При этих данных мы определяли кривые равных значений функции $\lg b_i(n_e, T_e)$ для иона O^{++} . Таким образом, n_e и T_e для зоны [O III] определялись по пересечению кривых: 1) $I_{\lambda 4363}/(I_{\lambda 4959} + I_{\lambda 5007}) = \text{const}$, 2) $\lg b_i(n_e, T_e)$ для λ 4363 и $\lg b_i(n_e, T_e)$ для $\lambda\lambda$ 4959, 5007.

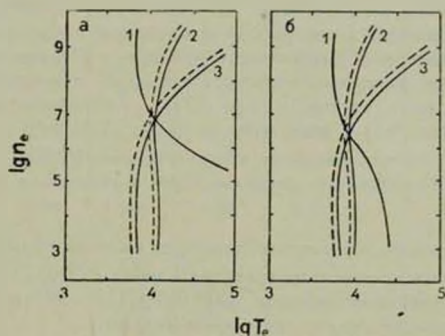


Рис. 1. Определение n_e и T_e зоны [O III] для галактик Мэриарри 10 (а) и 110 (б) методом пересечения кривых Ситоца [4]. (1) — $I_{\lambda 4363}/(I_{\lambda 4959} + I_{\lambda 5007}) = \text{const.}$, (2) и (3) — $\lg b_i(n_e, T_e)$ для 4363 и $\lambda\lambda$ 4959, 5007, соответственно. Кривые (2) и (3) соответствуют 50% ионизации кислорода. Пунктирные кривые соответствуют 75% ионизации кислорода.

На рис. 1 для некоторых галактик приведены графики, иллюстрирующие определение электронных температур и плотностей описанным методом. Линии на приведенных графиках относятся к случаям $N(\text{O III})/N(\text{O I}) = 0.50$ и 0.75. Линия $\lg b_i(n_e, T_e)$ для $N(\text{O III})/N(\text{O I}) = 0.90$ не наносилась, так как практически она совпадает с линией, соот-

ветствующей случаю $N(\text{O III})/N(\text{O I}) = 0.75$. Полученные результаты представлены во втором—пятом столбцах табл. 2. Как видим, физические условия в зоне $[\text{O III}]$ для разных галактик очень близки и в среднем таковы:

$N(\text{O III})/N(\text{O I}) = 0.50$		$N(\text{O III})/N(\text{O I}) = 0.75$	
$\lg T_e = 3.89,$	$\pm^2 (\lg T_e) = 0.002$	$\lg T_e = 3.95,$	$\pm^2 (\lg T_e) = 0.014,$
$\lg n_e = 6.72,$	$\pm^2 (\lg n_e) = 0.113,$	$\lg n_e = 6.60,$	$\pm^2 (\lg n_e) = 0.078.$

Разница для 50% и 75% ионизации кислорода очень мала — 0.06 для $\lg T_e$ и меньше 0.2 для $\lg n_e$. Можно отметить, что и совпадение между n_e и T_e , определенными соответственно по пересечению кривых (1) и (2), (1) и (3) и (2) и (3), очень хорошее (см. например, рис. 1). Следовательно, полученные величины мало зависят от исходных предположений, то есть они, вероятно, характеризуют истинную картину.

Полученные высокие значения электронных плотностей в зонах $[\text{O III}]$ сейфертовских галактик типа 1 согласуются с интерпретацией зависимости интенсивностей линий $[\text{O III}]$ от показателя цвета, предложенной в [1, 2]. С видом этой зависимости, полученным в [1], хорошо согласуется также малая дисперсия электронных плотностей и температур.

Рассмотрим далее данные о зоне $[\text{O II}]$. Интенсивности линий $[\text{O II}]$ λ 7320, 7330, $[\text{S II}]$ λ 4068, 4076 и $[\text{N II}]$ λ 5755 в [3] не приводятся, и линий постоянного отношения, как в случае зоны $[\text{O III}]$, у нас нет. Поэтому n_e и T_e определялись двумя методами и результаты сравнивались между собой.

Метод 1. Задаваясь нормальным химическим составом согласно [7] и принимая для относительного содержания серы значение $1 \cdot 10^{-5}$ согласно [9], для степени ионизации водорода $N(\text{H II})/N(\text{H I}) = 0.50$ и два значения степени ионизации для кислорода, азота и серы:

$$N(\text{O II})/N(\text{O I}) = 0.10 \text{ и } 0.25, \quad N(\text{N II})/N(\text{N I}) = 0.20 \text{ и } 0.50,$$

$$N(\text{S II})/N(\text{S I}) = 0.20 \text{ и } 0.50,$$

мы определяли кривые равных значений функции $\lg b_e(n_e, T_e)$ для λ 3726, 3729; λ 6548, 6584; λ 6717, 6731. Их пересечение дало значения n_e и T_e .

Метод 2. Предполагая, что линии $[\text{N II}]$ λ 5755 и $[\text{S II}]$ λ 4068, 4076 имеют интенсивность $I < 0.005$ по отношению к $I_{\text{H}\beta}$ (минимальная интенсивность, уверенно определяемая в [3]), мы получаем две линии равных отношений, пересечение которых определяет n_e и T_e независимо от химического состава и степени ионизации.

Таблица 2

Объект		Зона [O III]				Зона [O II]			
		$N(OIII)/N(OI) = 0.50$		$N(OIII)/N(OI) = 0.75$		$\lg T_e$	$\lg n_e$	$\lg X_{\text{выс.}}$	$\lg X$
		$\lg T_e$	$\lg n_e$	$\lg T_e$	$\lg n_e$				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Маркарян 10	10	3.92	6.30	3.88	6.50	4.20	3.20	3.10	3.02
	40	4.40	6.70	4.00	6.90	4.40	3.20	3.00	—
	69	3.96	6.75	3.92	6.80	—	—	—	3.38
	79	3.92	6.50	3.88	6.60	4.28	3.40	3.26	3.82
	106	3.88	6.50	3.84	6.60	—	—	—	—
	110	3.92	6.50	3.88	6.65	4.48	1.20	0.98	2.90
	124	3.96	6.50	3.92	6.70	—	—	—	3.00
	141	3.92	6.75	3.88	6.80	3.92	3.00	3.04	2.76
	142	3.88	6.80	3.84	6.90	3.50	3.00	3.55	2.70
	236	3.92	6.80	3.88	6.90	—	—	—	3.20
	279	3.88	6.80	3.84	6.90	4.40	3.50	3.30	3.08
	290	3.90	6.40	3.88	6.50	4.56	3.00	2.62	2.78
	291	4.00	6.60	3.96	6.70	3.80	2.10	2.50	—
	304	3.88	7.30	3.84	7.50	5.50	4.50	3.75	4.08
	335	3.90	6.80	3.86	7.00	—	—	—	—
	352	—	—	—	—	—	—	—	—
	358	3.92	6.60	3.88	6.70	4.16	1.30	1.22	—
	374	3.92	6.70	3.88	6.80	—	—	—	3.08
	376	—	—	—	—	4.08	4.10	4.06	—
	382	3.92	6.25	3.90	6.30	—	—	—	—
	478	—	—	—	—	—	—	—	3.42
	486	—	—	—	—	—	—	—	—
	504	3.88	6.50	3.84	6.60	—	—	—	—
	506	3.92	6.30	3.88	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	—
Маркарян 618	618	3.88	6.40	3.84	6.50	3.92	3.40	3.44	3.50
NGC 3227		3.96	6.00	3.92	6.20	—	—	—	3.12
NGC 3516		3.88	6.70	3.84	6.80	4.16	3.60	3.52	2.76
NGC 5548		4.00	6.70	3.84	6.80	4.36	3.30	3.12	3.08
NGC 7469		3.90	6.60	3.88	6.70	—	—	—	3.22
I Zw 1		3.92	6.70	3.88	6.70	—	—	—	—
II Zw 1		3.92	6.10	3.90	6.20	3.88	2.40	2.96	3.20
II Zw 136		—	—	—	—	—	—	—	—
III Zw 2		3.84	6.40	3.80	6.50	4.64	3.30	2.98	3.08

Таблица 2 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3C 120	3.96	6.30	3.92	6.45	—	—	—	3.22
3C 227	3.96	6.70	3.92	6.80	4.40	3.40	3.20	2.31
3C 382	3.92	7.00	3.89	7.10	—	—	—	3.28
3C 390.3	4.00	6.60	3.92	6.70	4.18	3.90	3.80	—
3C 445	4.40	6.20	4.00	6.30	4.00	2.50	2.50	2.82

В качестве контроля может быть использован приведенный Остерброком в [10] график, непосредственно задающий величину $X = n_e |10^4 T_e|$, то есть значение n_e , в предположении, что $T_e = 10^4$ К. Этот параметр независим от каких-либо предположений.

По n_e и T_e , полученным обоими методами, можно вычислить величины $X_{\text{выч.}} = n_e |10^4 T_e|$ и сравнить их с X , полученным по графику Остерброка. Анализ показывает, что результаты, полученные методом 1, целесообразно исключить из обсуждения, так как они сильно отличаются и друг от друга и от результатов, полученных методом 2. Как указывал Ситон в [11], когда линии пересекаются под малым углом, неопределенность в n_e возрастает. Например, для Маркарян 10 n_e и T_e , определенные по разным линиям методом 1, находятся в следующих границах: $3.70 < \lg T_e < 4.00$ и $3.80 < \lg n_e < 5.60$.

Обратимся теперь к результатам применения второго метода. Принимая, что относительная интенсивность линии [N II] λ 5755 и [S II] λ 4058, 4076 равна 0.005, мы получили n_e и T_e , приведенные в шестом и седьмом столбцах табл. 2. В восьмом столбце приведены соответствующие значения $X_{\text{выч.}}$, а в девятом — теоретические значения X согласно [10]. Как видим, согласие между этими величинами неплохое. Действительно, для 11 случаев из 17, для которых такое сравнение возможно, $|\lg X - \lg X_{\text{выч.}}| \leq 0.5$; то есть примерно для 2/3 случаев метод 2 дает приемлемые результаты.

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

$$3.80 < \lg T_e < 5.50, \quad 1.20 < \lg n_e < 4.50.$$

При этом

$$\langle \lg T_e \rangle = 4.23, \quad \sigma^2(\lg T_e) = 0.13,$$

$$\langle \lg n_e \rangle = 3.07, \quad \sigma^2(\lg n_e) = 0.76.$$

$\lg T_e = 5.50$ получается для объекта Маркарян 304, который отличается от остальных объектов высокими значениями n_e и T_e и для зоны [O III].

Однако надо отметить, что у этого объекта $|\lg X - \lg X_{\text{нн}}| = 0.33$. Это делает его чрезвычайно интересным для дальнейшего более подробного исследования. Исключая Маркарян 304, электронная температура меняется в границах $3.80 < \lg T_e < 4.64$. Можно заметить, что применяемым методом 2 температуры зоны [O II] получаются в среднем несколько более высокими, чем в зоне [O III]. Рис. 2 иллюстрирует определение физических условий в зоне [O II].

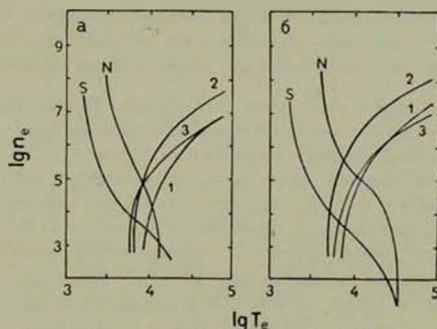


Рис. 2. Определение n_e и T_e зоны [O II] для галактик Маркарян 40 (а) и 110 (б). (1) — $\lg b_i(n_e, T_e)$ для λ 3727 при 10% ионизации кислорода, (2) и (3) — $\lg b_i(n_e, T_e)$ для $\lambda\lambda$ 6543, 6584 и 6717, 6731 при 20% ионизации серы и азота. $S - (I_{\lambda 4068} + I_{\lambda 4776}) / (I_{\lambda 6717} + I_{\lambda 6731}) = \text{const.}$, $N - I_{\lambda 5755} / (I_{\lambda 6543} + I_{\lambda 6581}) = \text{const.}$, принимая что $I_{\lambda 4068} + I_{\lambda 4776} = 0.005 I_{\text{H}}$ и $I_{\lambda 5755} = 0.005 I_{\text{H}}$.

3. *Результаты.* Все полученные результаты можно суммировать таким образом: по наблюдениям 36 сейфертовских галактик типа 1 и 5 радиогалактик с широкими линиями получается, что если запрещенные линии излучаются в двух зонах, соответствующих разным потенциалам ионизации, то условия в среднем таковы:

В зоне [O III]

$$\lg T_e \approx 4, \quad \lg n_e > 6.$$

В зоне [O II]

$$\lg T_e > 4, \quad \lg n_e = 1.2 - 4.5.$$

При этом условия в зонах [O III] для разных объектов очень сходны. Различия в физических условиях для зоны [O II] намного больше. Следовательно, в зонах [O II] различных галактик мы имеем значительно боль-

ший диапазон значений температуры и плотности, определяющих относительную интенсивность эмиссионных линий. Отсюда следует и больший диапазон самих относительных интенсивностей. Эти результаты качественно согласуются с тем фактом (см. табл. 1), что зависимость от показателя цвета относительных интенсивностей эмиссионных линий [O II], [N II] и [S II], заметно сильнее, чем аналогичная зависимость для линий [O III].

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

4. *Сравнение с полученными ранее результатами.* 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 табл. 3. Хотя методика определения электронных температур и плотностей немного отличается в разных случаях, данные в среднем согласуются между собой. У сейфертовских галактик типа NGC 4151 электронные плотности $n_e > 10^6 \text{ см}^{-3}$ отмечаются у NGC 4051 и NGC 7469, а также у NGC 1275, принадлежность которой к какому-нибудь типу спорна. Для NGC 5548 n_e , полученная в [12] методом 1, довольно неопределенна и может быть от 10^4 до 10^6 см^{-3} . В [12] приводится $n_e = 3 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$.

Для трех N-галактик Смит и др. [13] отмечают, что при нормальном химическом составе $n_e > 5 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$ для PKS 0353 + 027 и 3C 467 и $n_e > 10^4 \text{ см}^{-3}$ для 3C 411.

Спектрофотометрия 18 галактик Маркаряна привела Нойгебауера и др. [6] к выводу, что у сейфертовских галактик типа 1 существуют три зоны: плотная (водородная) зона с $n_e > 10^6 \text{ см}^{-3}$ (раньше принимались значения $n_e > 10^7 \text{ см}^{-3}$), зона [O III] с $n_e > 10^4 \text{ см}^{-3}$ и $T_e \sim 10^4 \text{ K}$ и зона [O II] с $n_e \leq 10^3 \text{ см}^{-3}$ и $T_e \sim 10^4 \text{ K}$. Для сейфертовских галактик типа 2 в [6] получено, что плотная зона отсутствует.

Как отмечают Остерброк и др. [14], электронные температуры и плотности в зонах [O III] четырех радиогалактик, которые входят в [3], порядка $T_e \sim 10^4 \text{ K}$ и $n_e = 10^4 - 10^7 \text{ см}^{-3}$. Кроме того, они отмечают, что для 3C 382 и 3C 390.3 нет конечных температур, которые соответствовали бы наблюдаемому отношению линий [O III] для $n_e < 10^5 \text{ см}^{-3}$.

Таким образом, полученные нами результаты в принципе не противоречат полученным ранее другими авторами. С другой стороны, как уже отмечалось, они согласуются с интерпретацией зависимостей, полученных в [1, 2].

Таблица 3

ФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ЯДРАХ СЕЙФЕРТОВСКИХ ГАЛАКТИК

Объект	Зона (O III)			Зона (O II)		
	литера- тура	T_e [K]	n_e [см ⁻³]	литера- тура	T_e [K]	n_e [см ⁻³]
NGC 1068	[17]	17000	10^3	[26]	(10—20000)	10^4
	[23]	10200	$4 \cdot 10^3 \div 2 \cdot 10^3$	[23]	8—10000	$4 \cdot 10^3$
NGC 1275	[15]		10^4	[26]	10—20 $\cdot 10^4$	10^4
	[18]	16000	$3 \div 10 \cdot 10^4$	[18]	12000	$4 \cdot 10^3$
NGC 3227	[24]	19000		[24]	11000	200—300
	[19]	16000	10^4	[19]	12000	10^3
NGC 3516				[19]	15000	10^4
NGC 4051	[19]	16000	$5 \cdot 10^4$	[19]	12000	$3 \cdot 10^3$
NGC 4151	[3]	одна зона с $T_e = 2 \cdot 10^4$ и $n_e = 4 \cdot 10^3$				
	[20]	"	$T_e = 14000$	$n_e = 2 \cdot 10^3$		
	[22]	(18000)	(5000)	(одна зона)		
NGC 5548	[12]	14000	$3 \cdot 10^3$			
NGC 7469	[19]	11000	$5 \cdot 10^4$			
	[15]	(4 $\cdot 10^4$)	$> 2.5 \cdot 10^3$			
Маркarian 79	[8]	$3-3.5 \cdot 10^4$	$2.5 \cdot 10^3$	[8]	10^4	$2.5-3 \cdot 10^4$
3C 120	[25]	26000	($< 10^3$)	[25]	(26000)	1500
N-галакт.	[13]	10—12000	$5 \cdot 10^3 \div 5 \cdot 10^4$			
СГ типа 1	[6]	(10^4)	$> 10^4$	[6]	(10^4)	10^3
СГ типа 2	[6]	(12000)	10^3	[6]	10—20000	10^3
Радиогал.	[14]	10^4	$> 10^4-10^7$			

Примечание. Значения n_e и T_e , заключенные в скобки, являются величинами, принятыми авторами. При этом соответственно получались приводимые в соседних столбцах значения T_e и n_e .

Автор благодарен М. А. Аракеляну за ценные советы, замечания и постоянное внимание к настоящей работе.

Ереванский государственный
университет

PHYSICAL CONDITIONS IN THE NUCLEI OF SEYFERT GALAXIES OF TYPE 1

G. T. PETROV

On the basis of spectrophotometric results by Osterbrock the electron densities and temperatures in the nuclei of 36 Seyfert galaxies of type 1 and 5 radio-galaxies are determined by the same procedure. It is shown that in the zones of O^{++} the temperatures are close to 10 000 K and densities are about $5 \cdot 10^6 \text{ cm}^{-3}$. The dispersions of both parameters are very small. In the zones of O^+ the dispersions of these parameters are significantly larger.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Аракелян, *Астрофизика*, 13, 427, 1977.
2. Г. Т. Петров, *Астрофизика*, 15, 59, 1979.
3. D. E. Osterbrock, *Ap. J.*, 215, 733, 1977.
4. M. J. Seaton, *M. N.*, 114, 154, 1954.
5. А. А. Боярчук, Р. Е. Гершберг, Н. В. Годовников, В. И. Проник, *Изв. Кр. АО*, 39, 147, 1969.
6. G. Neugebauer, E. Beclin, J. B. Oke, L. Searle, *Ap. J.*, 205, 29, 1976.
7. K. Davidson, *Ap. J.*, 171, 213, 1972.
8. И. М. Янкулова, *Диссертация*, МГУ, М., 1974.
9. К. У. Аллен, *Астрофизические величины*, ИЛ, М., 1960.
10. D. E. Osterbrock, in *"Astrophysics of Gaseous Nebulae"*, Freeman and Company, San Francisco, 1974.
11. M. J. Seaton, *Reports on Progress in Physics*, 23, 313, 1960.
12. Э. А. Дубай, В. Ф. Есипов, В. И. Проник, *Астрон. ж.*, 44, 689, 1967.
13. H. E. Smith, H. Splirad, R. Hunstead, *Ap. J.*, 206, 345, 1976.
14. D. E. Osterbrock, A. T. Koski, M. M. Phillips, *Ap. J.*, 206, 898, 1976.
15. K. S. Anderson, *Ap. J.*, 162, 743, 1970.
16. J. A. Baldwin, *Ap. J.*, 201, 26, 1975.
17. Э. А. Дубай, В. И. Проник, *Астрофизика*, 1, 78, 1965.
18. Э. А. Дубай, В. И. Проник, *Изв. Кр. АО*, 35, 87, 1966.
19. Э. А. Дубай, В. И. Проник, *Астрон. ж.*, 44, 952, 1967.
20. Э. А. Дубай, Б. А. Воронцов-Вельяминов, *Симпозиум МАС № 29*, Бюракан, 1968, стр. 75.
21. E. Y. Khachikyan, D. W. Weedman, *Ap. J.*, 192, 581, 1974.
22. J. B. Oke, W. L. W. Sargent, *Ap. J.*, 151, 807, 1968.
23. O. E. Osterbrock, R. A. R. Parker, *Ap. J.*, 141, 892, 1965.
24. V. Rubin, F. K. Ford, *Ap. J.*, 154, 431, 1968.
25. G. A. Shields, J. B. Oke, W. L. W. Sargent, *Ap. J.*, 176, 75, 1972.
26. E. J. Wampler, *Ap. J.*, 164, 1, 1971.
27. В. И. Проник, *Астрофизика*, 13, 51, 1977.