СПЕКТРАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГОЛУБОЙ КОМПАКТНОЙ КАРЛИКОВОЙ ГАЛАКТИКИ IC 4662

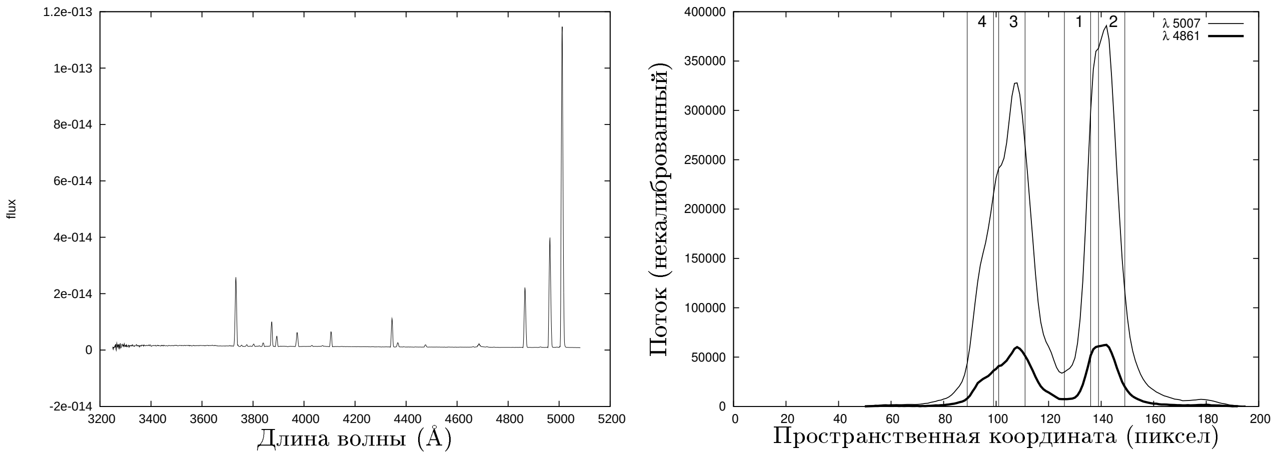
К. Б. Агиенко, Ю. И. Изотов, Н. Г. Гусева

Главная астрономическая обсерватория НАН Украины
03680 Киев ГСП, ул. Академика Заболотного, 27
e-mail: agienko@mao.kiev.ua

С использованием оптического спектра голубой компактной карликовой галактики IC 4662, полученного на 3.6-м телескопе обсерватории ESO, определено обилие кислорода и азота в четырех H II областях, а также железа в одной из H II областей. Исследование кинематики ионизированного газа вдоль щели в линиях H_β λ 4861 и [O III] λ 5007 не показало больших вариаций радиальной скорости: она изменяется в пределах 300–330 км/с. По линии He II 4686 сделана оценка количества звезд Вольфа–Райе в трех наиболее ярких зонах H II.

ВВЕДЕНИЕ

Галактика IC 4662 принадлежит к классу неправильных галактик (dwarf irregular – dI). Поскольку она содержит несколько областей интенсивного звездообразования, имеющих голубой цвет и достаточно большую поверхностную яркость, составляющую 21.2 звездных величин с квадратной секунды дуги, эту галактику можно классифицировать как голубую компактную карликовую галактику (ГККГ). IC 4662 находится на расстоянии 2.26 ± 0.17 Мпк в направлении группы галактик NGC 6300 [2, 3, 6].



а б

Рис. 1. Спектр ГККГ IC 4662 (*а*). Распределение яркости вдоль щели спектрографа для линий H_β λ4861 и [O III] λ5007. По вертикальной оси откладывается поток излучения в линии, а по горизонтальной пространственная координата (*б*)

Таблица 1. Пространственная координата (номер строки двумерного спектра) каждой из исследуемых областей

Область	1	2	3	4
Пространственная координата	126–136	139–149	101–111	89–99

ОБРАБОТКА СПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Основным источником данных стал двумерный спектр, полученный на 3.6-метровом телескопе Европейской южной обсерватории по заявке 075.B-0768(A). Размер щели спектрографа $1'' \times 300''$. Наблюдения проводились с гризмой номер 14. Спектр галактики получен в интервале длин волн $\lambda 3700 - \lambda 5100$Å. Обработка спектральных данных была произведена с помощью программного пакета IRAF. Спектр был приведен к нулевому красному смещению и исправлен за экстинкцию [12]:

$$F_c = F_0 \cdot 10^{C(H_\beta) f(\lambda)}, \tag{1}$$

где $f(\lambda) = 3.15854 \cdot 10^{-0.02109\lambda} - 1$ — функция покраснения.

В спектре наблюдаются яркие эмиссионные линии [O II], [O III], He I, [Ne III], линии водорода серии Бальмера и др. Также была обнаружена широкая эмиссия He II $\lambda 4686$, которая является проявлением звезд Вольфа–Райе в интегральном спектре галактики IC 4662.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТОКА ИЗЛУЧЕНИЯ ВДОЛЬ ЩЕЛИ СПЕКТРОГРАФА В ЛИНИЯХ H_β И [O III] $\lambda 5007$

Получено распределение вдоль щели потоков излучения в линиях H_β и [O III]. Из рис. 1, *б* видно, что распределение яркости в обеих линиях подобно: пики излучения совпадают с областями звездообразования.

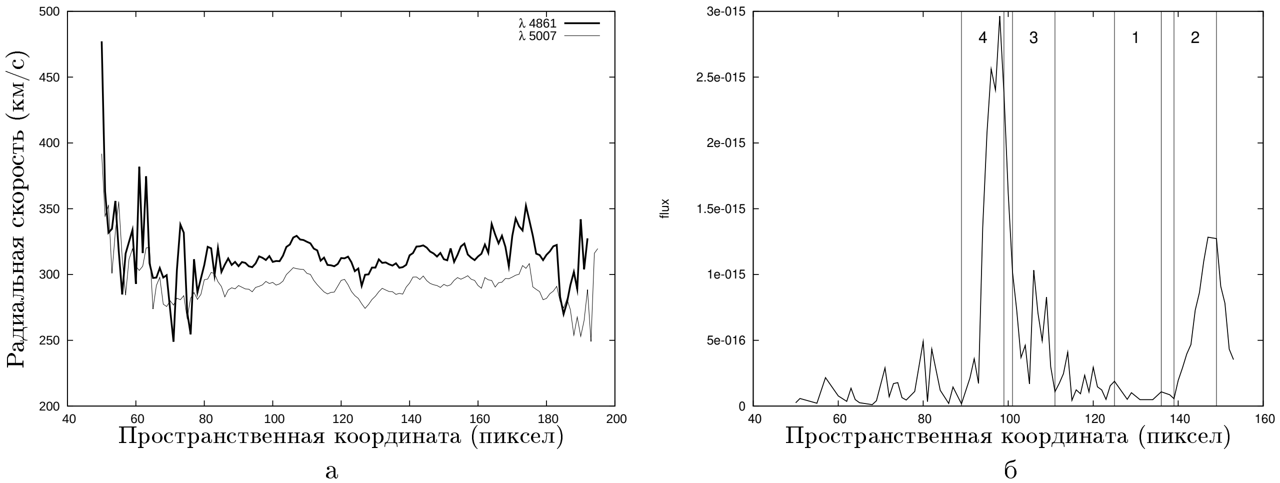


Рис. 2. Распределение радиальных скоростей вдоль щели спектрографа для линий H_β и [O III] $\lambda 5007$ (*а*). Распределение яркости в линии He II. Также вертикальными полосами показаны области спектра, в которых определялись обилия химических элементов (*б*)

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИАЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ ВДОЛЬ ЩЕЛИ СПЕКТРОГРАФА В ЛИНИЯХ H_β и [O III] $\lambda 5007$

Для определения распределения радиальной скорости ионизированного газа использовалось выражение:

$$v = \frac{c\,(\lambda - \lambda_0)}{\lambda_0}. \tag{2}$$

Здесь: v – радиальная скорость, λ – наблюдаемая длина волны линии, λ_0 – длина волны той же линии, которую излучает неподвижный газ, c – скорость света.

Представленные графики (рис. 2, *а*) отображают распределение радиальной скорости вдоль щели спектрографа. Из графиков видно, что радиальные скорости изменяются в пределах 300–330 км/с. Отсутствие градиента скоростей свидетельствует об отсутствии заметного вращения галактики.

ОБИЛИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ГККГ IC 4662

Благодаря простой структуре ГККГ – идеальные объекты для изучения химической эволюции галактик и проверки моделей звездного нуклеосинтеза. В них проходят интенсивные процессы звездообразования, порождающие в компактных областях большое количество массивных звезд, ионизирующих межзвездную среду, создавая области ионизированного водорода H II и на конечном этапе своей эволюции обогащая среду тяжелыми элементами. Для исследования обилия химических элементов галактики IC 4662 вдоль пространственной координаты спектра было выделено четыре области, каждая из которых содержит 10 ячеек матрицы. Их положение вдоль щели представлено на рис. 2, *б* на фоне диаграммы распределения яркости в линии He II $\lambda 4686$, в которой наблюдается уширение, характерное для звезд Вольфа–Райе. Номера строк для каждой из выбранных областей указаны в табл. 1. Во всех H II областях наблюдается линия [O III] $\lambda 4363$ Å, поэтому температура определялась прямым методом, согласно работам [4, 5].

Таблица 2. Обилие химических элементов в галактике IC 4662

Ион	Область			
	1	2	3	4
T_e(O III) ($\cdot 10^4$K)	1.22 ± 0.022	1.26 ± 0.01	1.25 ± 0.02	1.24 ± 0.019
T_e(O II) ($\cdot 10^4$K)	1.20 ± 0.02	1.25 ± 0.01	1.23 ± 0.01	1.23 ± 0.02
O^+/H^+ ($\cdot 10^{-6}$)	21.24 ± 1.21	12.39 ± 0.36	23.47 ± 0.99	29.32 ± 1.44
O^{2+}/H^+ ($\cdot 10^{-6}$)	107.2 ± 5.82	108.6 ± 2.91	105.4 ± 4.23	106.7 ± 5.04
O/H ($\cdot 10^{-6}$)	128.4 ± 5.95	121.0 ± 2.96	128.9 ± 4.40	136.0 ± 5.36
$12 + \lg$(O/H)	8.10 ± 0.02	8.08 ± 0.01	8.11 ± 0.01	8.13 ± 0.01
Ne^{2+}/H^+ ($\cdot 10^{-6}$)	23.1 ± 1.38	20.29 ± 0.62	20.2 ± 0.91	23.38 ± 1.23
ICF(Ne)	1.07	1.08	1.10	1.20
Ne/H ($\cdot 10^{-6}$)	24.65 ± 1.65	21.82 ± 0.75	22.29 ± 1.17	28.05 ± 1.81
$12 + \lg$(Ne /H)	7.39 ± 0.03	7.34 ± 0.01	7.35 ± 0.02	7.45 ± 0.03
lg(Ne/O)	-0.72 ± 0.04	-0.74 ± 0.02	-0.76 ± 0.03	-0.68 ± 0.03
Fe^{2+}/H^+ ($\cdot 10^{-6}$)	...	...	0.22 ± 0.07	...
ICF(Fe)	...	...	7.94	...
Fe/H ($\cdot 10^{-6}$)	...	...	1.74 ± 0.56	...
$12 + \lg$(Fe /H)	...	...	6.24 ± 0.14	...
lg(Fe/O)	...	...	-1.87 ± 0.14	...

ОЦЕНКА КОЛИЧЕСТВА ЗВЕЗД ВОЛЬФА–РАЙЕ

По виду спектров звезды WR делят на углеродные (WC) и азотные (WN). Четкой границы между типами звезд нет. Общим является эмиссия He I и He II. Мы наблюдаем не индивидуальные звезды Вольфа–Райе, а проявления их присутствия в интегральном спектре галактики. Оценка количества звезд WR проведена в трех из четырех выделенных H II областей, которые совпадают с пиками интенсивности потока излучения в линии He II $\lambda 4686$ (рис. 2, *б*). Это области с номерами 2, 3 и 4 (см. таблицу 1 и рис. 2, *б*). Количество звезд WR было оценено с помощью методики из работы [10]. Приблизительное количество звезд WR получаем, поделив абсолютную светимость в линиях WR, исправленную за межзвездную экстинкцию (L_{WR}), на абсолютную светимость одной звезды (L^0_{WR}):

$$N_{WR} = \frac{L_{WR}}{L^0_{WR}}. \tag{3}$$

При разной металличности значение светимости одной WR-звезды разное [11]. Поскольку для IC 4662 $12 + \lg \mathrm{O/H} = 8.10 \pm 0.012 < (12 + \lg \mathrm{O/H})_\odot$, мы взяли светимость одной WR-звезды в линии He II равной $L^0_{WR} = 2.0 \cdot 10^{36}$ эрг/с. Суммарную светимость всех WR-звезд оцениваем по потоку излучения F_c в линии He II $\lambda 4686$:

$$L_{WR} = F_c 4\pi D^2 \lambda, \tag{4}$$

где D – расстояние до галактики.

Таким образом, получено 23 WR-звезды в самой яркой области 4 (рис. 2, *б*), шесть WR-звезд в области 3 и четыре WR-звезды в области 2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе исследованы кинематические особенности ионизированного газа зон H II голубой компактной карликовой галактики IC 4662. Для этой цели были выбраны две самые яркие спектральные линии:

Таблица 3. Количество звезд WR в каждой области

	Область		
	2	3	4
F_0, эрг$\cdot$ с$^{-1}$ см$^{-2}$ Å^{-1} ($\cdot 10^{-15}$)	9.010	6.204	10.76
λ, Å	4686.138	4686.784	4687.138
C(H$_\beta$)	0.115 ± 0.015	0.285 ± 0.015	0.345 ± 0.015
F_c, эрг$\cdot$с$^{-1}$см$^{-2}$Å^{-1} ($\cdot 10^{-15}$)	20.8	49.28	132.44
L_{WR}, эрг/с ($\cdot 10^{36}$)	7.5	13.12	46.39
N_{WR}	3.75	6.56	23.19

F_0 – неисправленный поток излучения;
F_c – поток излучения, исправленный за экстинкцию;
C(H$_\beta$) – коэффициент экстинкции.

H$_\beta$ λ4861Å и [O III] λ5007Å. Исследование не показало заметного вращения галактики. Скорость движения газа варьируется в пределах 300–330 км/с. Получены также обилия кислорода, неона в четырех H II областях и железа в области 3. По линии He II λ4686 Å получено 23-и WR звезды в самой яркой области 4, шесть WR-звезд в следующей по яркости области 3 и четыре WR-звезды в наименее яркой области 2.

[1] *Izotov Y. I., Thuan T. X., Guseva, N. G.* Broad-Line Emission in Low-Metallicity Blue Compact Dwarf Galaxies: Evidence for Stellar Wind, Supernova, and Possible AGN Activity // Astrophys. J. – 2007. – **671**, N 2. – P. 1297–1320.

[2] *Hidalgo-Gamez A. M., Masegosa J., Olofsson K.* The chemical abundances in a sample of dwarf irregular galaxies. II. The case of IC 4662 and ESO 245-G05 // Astron. and Astrophys. – 2001. – **369**. – P. 797–811

[3] *Hidalgo-Gamez A. M., Olofsson K., Masegosa J.* What is it happening in IC 4662? // Ionized Gaseous Nebulae. Mexico City. November 21–24, 2000. – meeting abstract.

[4] *Stasińska G., Izotov Y.* Modeling the emission line sequence of H II galaxies // Astron. and Astrophys. – 2003. – **397**. – P. 71–85.

[5] *Stasińska G., Izotov Y.* Collisional excitation of hydrogen and the determination of the primordial helium abundance from H II regions // Astron. and Astrophys. – 2001. – **378**. – P. 817–825.

[6] *Pastoriza M. G., Dottori H. A.* Study of the Nuclei of NGC 3732 and IC 4662 // Astrophys. J. – 1981. – **244**. – P. 27.

[7] *Peimbert M.* Temperature determination of H II regions // Astrophys. J. – 1967. – 150, N 3. – P. 825–834.

[8] *Campbell A., Terlevich R., Melnick J.* The stellar populations and evolution of H II galaxies. I. High signal-to-noise optical spectroscopy // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. – 1986. – **223**, N 4. – P. 811–825.

[9] *Izotov Y. I., Thuan T. X.* Heavy-element abundances in blue compact galaxies // Astrophys. J. – 1999. – **511**, N 2. – P. 639–659.

[10] *Guseva N. G., Izotov Y. I., Thuan T. X.* A Spectroscopic Study of a Large Sample of Wolf-Rayet Galaxies // Astrophys. J. – 2000. – 531, N 2. – P. 776–803.

[11] *Schaerer D., Vacca W. D.* New models for Wolf-Rayet and O populations in young starbursts // Astrophys. J. – 1998. – **497**, N 2. – P. 618–644.

[12] *Whitford A. E.* The law of interstellar reddening // Astron. J. – 1958. – **63**. – P. 201–207.