# СОДЕРЖАНИЕ КИСЛОРОДА В ДИСКАХ ГАЛАКТИК NGC 4631 и NGC 5457 НА ОСНОВЕ СПЕКТРОВ ОБЛАСТЕЙ H II ИЗ ЦИФРОВОГО ОБЗОРА НЕБА SLOAN

**Л. С. Пилюгин**[1], **И. Ю. Изотова**[2]



[1] *Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины*
*03680 Киев ГСП, ул. Академика Заболотного 27*
*e-mail:* pilyugin@mao.kiev.ua

[2] *Астрономическая обсерватория Киевского национального университета имени Тараса Шевченко*
*04053 Киев, ул. Обсерваторная 3*
*e-mail:* izotova@observ.univ.kiev.ua

Определено содержание кислорода в спиральных галактиках NGC 4631 и NGC 5457. В базе данных цифрового обзора неба Sloan найдены спектры четырех областей H II в галактике NGC 4631 и 17 областей H II в галактике NGC 5457, в которых присутствует авроральная линия кислорода [O III] $\lambda$ 436.3 нм. Показано, что спектральные данные из SDSS, дополненные информацией о небулярной линии кислорода [O II] $\lambda$ 372.7 нм, найденной при помощи недавно обнаруженной зависимости между интенсивностями кислородных линий в спектрах областей H II (flux-flux или ff relation), позволяют определить содержания кислорода, которые сравнимы по точности с содержаниями, определенными при помощи стандартного $T_e$-метода. Определены параметры радиального распределения содержания кислорода в дисках галактик: содержание кислорода в центре галактики и величина радиального градиента.

## ВВЕДЕНИЕ

Химический состав является одной из фундаментальных характеристик галактики. Детальная информация о химическом составе галактик важна для построения теории формирования и эволюции галактик, так как эта информация позволяет судить об истории звездообразования в галактике, об обмене веществом между разными частями галактики и между галактикой и окружающей средой. Эмиссионные спектры областей H II в галактиках используются для определения содержания химических элементов в галактиках. К сожалению, спектры областей H II получены лишь для нескольких десятков спиральных галактик (см. компиляцию данных в [9]). Обширный цифровой обзор неба Sloan (SDSS – the Sloan Digital Sky Survey) содержит спектры около полутора миллионов объектов, включая области H II в галактиках разных морфологических типов. Однако при определении химического состава областей H II в близких галактиках на основе спектральных данных SDSS возникает следующая проблема. Спектры SDSS покрывают интервал длин волн от 380.0 до 920.0 нм. Поэтому спектры близких объектов (с красным смещением $z \leq 0.02$) не содержат небулярной линии кислорода [O II] $\lambda$ 372.7 нм, которая используется для определения содержания иона $O^+$ в области H II. В работах [5, 7] показано, что существует однозначное соответствие между интенсивностями небулярных и авроральных линий в спектрах областей H II (flux-flux или ff relation), т. е. интенсивность слабой авроральной линии кислорода R может быть вычислена по измеренным интенсивностям сильных небулярных линий кислорода $R_2$ и $R_3$. В случае нашей выборки областей H II мы измерили интенсивности небулярной $R_3$ и авроральной R линий кислорода, но в SDSS-спектрах близких галактик линия кислорода $R_2$ лежит за пределами исследованного спектрального диапазона. Если интенсивность линии кислорода R может быть вычислена по измеренным интенсивностям линий кислорода $R_2$ и $R_3$, то мы вправе ожидать, что и интенсивность линии $R_2$ также может быть вычислена по измеренным интенсивностям линий $R_3$ и R. Мы получили следующее соотношение [2]

$$\lg \mathrm{R}_2 = 3.55 - 1.11 \lg \mathrm{R}_3 - 0.93(\lg \mathrm{R}_3)^2 + 1.46 \lg \mathrm{R} + 0.119(\lg \mathrm{R})^2. \quad (1)$$

Такой подход позволяет определить содержания кислорода, которые сравнимы по точности с содержаниями, определенными при помощи стандартного $T_e$-метода [2].

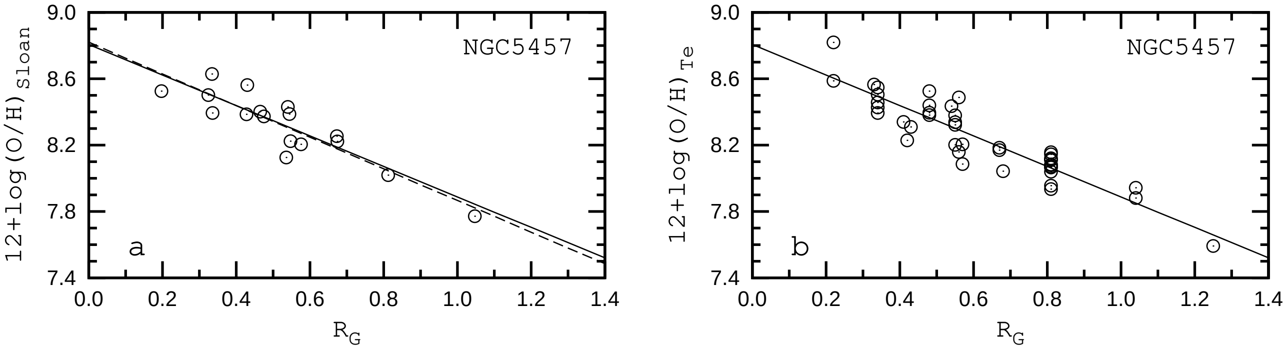


Рис. 1. Радиальное распределение содержания кислорода $(\mathrm{O/H})_{\mathrm{Sloan}}$ в диске спиральной галактики NGC 5457 (M 101). Содержание кислорода $(\mathrm{O/H})_{\mathrm{Sloan}}$ в областях H II (кружки) определено по SDSS-спектрам. Галактоцентрические расстояния даны в единицах изофотного радиуса галактики. Штриховая линия – зависимость $(\mathrm{O/H})_{\mathrm{Sloan}} - \mathrm{R}_G$ (*a*). Радиальное распределение содержания кислорода $(\mathrm{O/H})_{\mathrm{Te}}$ в диске галактики M 101. Значения $(\mathrm{O/H})_{\mathrm{Te}}$ найдены с использованием компиляции спектральных данных из литературы (*b*). (Сплошная линия – зависимость $(\mathrm{O/H})_{\mathrm{Te}} - \mathrm{R}_G$)

## СПИРАЛЬНАЯ ГАЛАКТИКА NGC 5457 (M 101)

В базе спектральных данных SDSS мы нашли 17 областей H II в диске галактики M 101, в спектрах которых достаточно надежно измеряется авроральная линия кислорода [O III] $\lambda$ 436.3 нм. Интенсивности линий в спектрах этих областей H II были измерены с помощью пакета IRAF. Интенсивности линий $\mathrm{R}_2$ были вычислены при помощи уравнения (1). Интенсивности линий исправлены за покраснение с использованием аналитической аппроксимации кривой покраснения из работы [4].

При определении содержания кислорода в области H II мы используем двухзонную модель для описания распределения температуры в области H II. Необходимые уравнения для определения содержания кислорода приведены в работе [3]. Радиальное распределение найденных содержаний кислорода $(\mathrm{O/H})_{\mathrm{Sloan}}$ в диске M 101 представлено на рис. 1, *a*. Кружками показаны области H II. Штриховая линия показывает зависимость $(\mathrm{O/H})_{\mathrm{Sloan}} - \mathrm{R}_G$

$$12 + \lg(\mathrm{O/H})_{\mathrm{Sloan}} = 8.82 \pm 0.07 - (0.95 \pm 0.12)\,\mathrm{R}_G, \tag{2}$$

найденную при помощи метода наименьших квадратов.

Спектральные наблюдения областей H II в галактике M 101 проводились многими авторами. Это дает возможность оценить достоверность найденных значений $(\mathrm{O/H})_{\mathrm{Sloan}}$. Мы собрали из литературных источников спектральные данные, которые содержат измерения авроральной линии кислорода [O III] $\lambda$ 436.3 нм, и определили содержания кислорода $(\mathrm{O/H})_{\mathrm{Te}}$ классическим методом [1]. Радиальное распределение содержания кислорода $(\mathrm{O/H})_{\mathrm{Te}}$ в диске M 101 представлено на рис. 1, *b*. Кружками обозначены области H II. Сплошная линия показывает зависимость $(\mathrm{O/H})_{\mathrm{Te}} - \mathrm{R}_G$

$$12 + \lg(\mathrm{O/H})_{\mathrm{Te}} = 8.77 \pm 0.04 - (0.87 \pm 0.06)\,\mathrm{R}_G, \tag{3}$$

найденную при помощи метода наименьших квадратов. Сравнение уравнений (2) и (3) показывает, что зависимости $(\mathrm{O/H})_{\mathrm{Te}} - \mathrm{R}_G$ и $(\mathrm{O/H})_{\mathrm{Sloan}} - \mathrm{R}_G$ согласуются между собой.

## ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩАЯ ГАЛАКТИКА NGC 4631

В базе спектральных данных SDSS мы нашли спектры пяти областей H II в галактике NGC 4631, в которых присутствует авроральная линия кислорода [O III] $\lambda$ 436.3 нм. Однако в спектре 1975-53734-421 небулярные линии кислорода [O III] $\lambda$ 495.9 нм и [O III] $\lambda$ 500.7 нм имеют дефект ("срезана" вершина линии), поэтому этот спектр был исключен. Галактика NGC 4631 является взаимодействующей, взаимодействие между галактиками NGC 4631 и NGC 4656 было обнаружено Робертсом [10].

Содержание кислорода $(\mathrm{O/H})_{\mathrm{Sloan}}$ в областях H II в диске галактики NGC 4631 определено описанным выше способом. Радиальное распределение содержания кислорода $(\mathrm{O/H})_{\mathrm{Sloan}}$ в диске галактики NGC 4631 показано на рис. 2, *a* кружками. Линией на рис. 2, *a* показана зависимость $(\mathrm{O/H})_{\mathrm{Sloan}} - \mathrm{R}_G$

$$12 + \lg(\mathrm{O/H})_{\mathrm{Sloan}} = 8.56 \pm 0.02 - (0.41 \pm 0.03)\,\mathrm{R}_G, \tag{4}$$

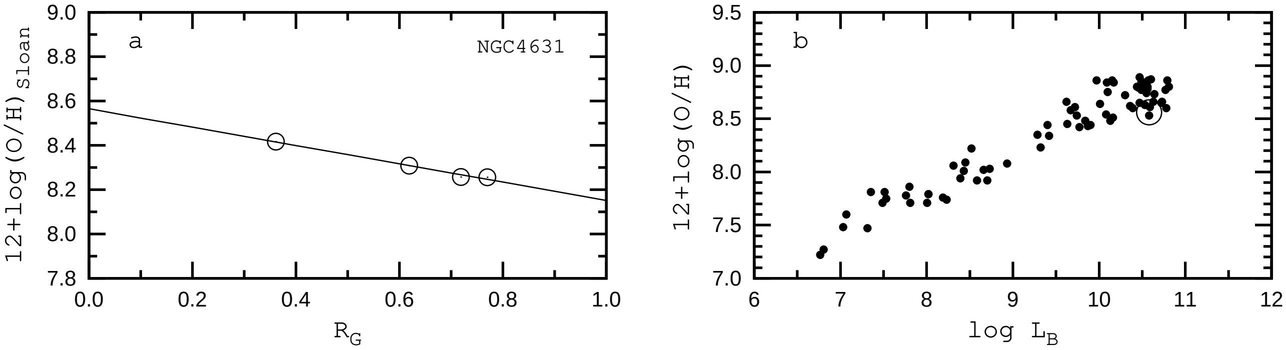


Рис. 2. Радиальное распределение содержания кислорода $(\mathrm{O/H})_{\mathrm{Sloan}}$ в диске галактики NGC 4631. Кружки – области H II, линия – зависимость $(\mathrm{O/H})_{\mathrm{Sloan}} - \mathrm{R}_G$ (*a*). Диаграмма светимость – металличность (содержание кислорода) для спиральных и неправильных галактик. Для спиральных галактик показано содержание кислорода в центре диска. Зачерненные кружки – данные из [6, 8, 9]. Светлый кружок – галактика NGC 4631 (*b*)

полученная методом наименьших квадратов.

Диаграмма светимость – металличность (содержание кислорода) для спиральных и неправильных галактик представлена на рис. 2, *b*. Для спиральных галактик показано содержание кислорода в центре диска. Зачерненные кружки – галактики из [6, 8, 9]. Светлый кружок – галактика NGC 4631.

Участие Л. П. в конференции было финансировано в рамках программы "КосмоМикроФизика" Национальной академии наук Украины и Национального космического агентства Украины.

[1] *Пилюгин Л. С., Изотова И. Ю., Шолудченко Ю. С.* Содержание кислорода в близких галактиках на основе спектров областей H II из цифрового обзора неба Sloan II. Взаимодействующие галактики NGC 4631 и NGC 4656 // Кинематика и физика небес. тел. – 2008. – **24**, N 4. – P. 263–277.

[2] *Шолудченко Ю. С., Изотова И. Ю., Пилюгин Л. С.* Содержание кислорода в областях H II спиральной галактики M 101 на основе спектров из цифрового обзора неба Sloan // Кинематика и физика небес. тел. – 2007. – **23**, N 4. – P. 230–240.

[3] *Izotov Y. I., Stasińska G., Meynet G., et al.* The chemical composition of metal-poor emission-line galaxies in the Data Release 3 of the Sloan Digital Sky Survey // Astron. and Astrophys. – 2006. – **448**, N 3. – P. 955–970.

[4] *Izotov Y. I., Thuan T. X., Lipovetsky V. A.* The primordial helium abundance from a new sample of metal-deficient blue compact galaxies // Astrophys. J. – 1994. – **435**, N 2. – P. 647–667.

[5] *Pilyugin L. S.* On the relationship between auroral and nebular oxygen line intensities in spectra of H II regions // Astron. and Astrophys. – 2005. – **436**, N 1. – P. L1–L4.

[6] *Pilyugin L. S., Thuan T. X.* The oxygen abundance of nearby galaxies from Sloan Digital Sky Survey spectra // Astrophys. J. – 2007. – **669**, N 1. – P. 299–314.

[7] *Pilyugin L. S., Thuan T. X., Vílchez J. M.* Oxygen abundance in the most oxygen-rich spiral galaxies // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. – 2006. – **367**, N 3. – P. 1139–1146.

[8] *Pilyugin L. S., Thuan T. X., Vílchez J. M.* On the maximum value of the cosmic abundance of oxygen and the oxygen yield // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. – 2007. – **376**, N 1. – P. 353–360.

[9] *Pilyugin L. S., Vílchez J. M., Contini T.* Oxygen and nitrogen abundances in nearby galaxies. Correlations between oxygen abundance and macroscopic properties // Astron. and Astrophys. – 2004. – **425**, N 3. – P. 849–871.

[10] *Roberts M. S.* Neutral hydrogen observations of the binary galaxy system NGC 4631/4656 // Astrophys. J. – 1968. – **151**, N 1. – P. 117–131.