

УДК 524.7

Э. К. ДЕНИСЮК, Р. Р. ВАЛИУЛЛИН, В. Н. ГАЙСИНА

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЭМИССИОННЫХ ОБЪЕКТОВ В ОКРЕСТНОСТЯХ ЦЕНТРАЛЬНЫХ ТЕЛ СЕЙФЕРТОВСКИХ ГАЛАКТИК

ДТОО «Астрофизический институт им. В. Г. Фесенкова», г. Алматы

Рассматривается новый подход к определению масс и других характеристик центральных тел у галактик Сейфера на базе спектральных и фотометрических наблюдений.

В настоящее время одной из самых важных проблем астрономии является выяснение устройства и механизма работы центральной «машины» галактик Сейфера и квазаров, где выделяется самая большая по мощности электромагнитная энергия во Вселенной (до 10^{48} эрг/с) [1]. Предполагается, что в центре этих объектов находится сверхмассивное тело с массой до 10^9 масс Солнца, вероятнее всего, черная дыра. Этот центр окружен наиболее плотной областью галактики, из нее к центру поступают всевозможные объекты, из которых состоит галактика: звезды и их скопления, туманности различного размера и плотности и невидимые в обычных условиях тела типа экзопланет или старых потухших звезд. Мощное гравитационное поле центрального тела (ЦТ), с учетом его градиента, перерабатывает до 10% массы вещества, поступающего к центру и превращает ее в электромагнитное излучение. Максимум мощности этого излучения лежит в области рентгена и жесткого ультрафиолета, но и в видимой и инфракрасной областях спектра оно остается измеримым.

Часть вещества, поступающего на переработку, образует около ЦТ диск, внутренние зоны которого имеют скорости вращения в несколько тысяч км в сек. Именно в этих зонах образуются широкие эмиссионные линии, которые являются основным признаком галактик Сейфера. Так как материя поступает в район ЦТ порциями, излучение из центра оказывается переменным. В свою очередь, переменное ионизующее излучение вызывает изменение объема ионизированной части диска, вследствие чего эмиссионные линии в диске также оказываются переменными. Используя запаздывание реакции диска на изменение мощности излучения от ЦТ и учитывая постоянство скорости света, можно оценить абсолютные расстояния от ЦТ до разных частей диска.

Для того чтобы получить надежные оценки запаздывания реакции диска на изменение мощности излучения от ЦТ, проводятся спектральные и фотометрические мониторинги наиболее интересных галактик, в них принимают участие обсерватории разных стран.

Анализ всей совокупности наблюдательных данных, полученных в процессе мониторингов, позволил оценить форму и размер диска, а также массу ЦТ некоторых ярких сейфертовских галактик, например, NGC4151, NGC5548. При этом разные исследователи получают результаты, отличающиеся иногда в несколько раз. Причина различий заключается в том, что для строгого решения задачи необходимо вводить дополнительные предположения об угле, под которым диск ориентирован к наблюдателю, о распределении плотности в диске и возможном наличии поглощающей материи. При этом предполагается симметрия диска относительно оси вращения, а она, вполне возможно, нарушается неоднородным распределением плотности.

По нашему мнению, значительно более точное значение массы ЦТ можно получить, используя спектральные и фотометрические наблюдения отдельных эмиссионных объектов вблизи ЦТ. Появление эмиссионных деталей на крыльях широких эмиссионных линий в спектрах сейфертовских галактик отмечено рядом авторов [2-5]. Уже на самой первой спектограмме галактики NGC4151, опубликованной Сейфертом [6], такая деталь присутствует на красном крыле линии H β . Подобные эмиссионные детали в спектрах разных галактик Сейфера наблюдаются достаточно часто. Их интенсивность и лучевые скорости относительно ЦТ в разные годы заметно отличаются друг от друга. Отсюда можно сделать вывод, что эти эмиссии относятся к разным объектам. Мы обратили внимание на яркую эмиссионную деталь, которая постоянно присутствовала на красном крыле линии H α в первой половине 2003 года, почти не меняясь по скорости и

величине потока [7]. Наши более поздние спектральные наблюдения показывают, что эта деталь продолжает существовать, но ее лучевая скорость и поток излучения меняются.

Измерив в различные моменты времени проекцию скорости этой детали на луч зрения, можно построить орбиту движения эмиссионного объекта. На практике необходимо иметь, по крайней мере, несколько десятков точных измерений лучевой скорости этой эмиссии, полученных на значительном интервале времени. Попытка провести подобную работу на ограниченном наблюдательном материале опубликована в [8, 9]. Источник энергии, вызывающий появление таких эмиссий – жесткое излучение ЦТ. Если определить время запаздывания реакции эмиссионного объекта на изменение излучения ЦТ, можно оценить абсолютное расстояние между ними. Многократные измерения лучевой скорости и времени запаздывания позволяет строго решить задачу построения орбиты движения объекта с одновременным определением массы ЦТ. Наиболее сложная и неоднозначная задача – измерение переменного потока эмиссии от подобных объектов по наблюдаемым спектрограммам. В данной работе рассматривается путь решения этой задачи.

Исследование отдельных эмиссионных объектов. Эмиссионные линии, излучаемые вращающимся диском, обязаны быть строго симметричными относительно их центра. Однако практически всегда такая симметрия нарушается, что можно объяснить:

- 1) отсутствием осевой симметрии в распределении вещества диска,
- 2) неоднородным поглощением в районе диска,
- 3) дополнительными эмиссионными деталями.

Для того чтобы измерить поток излучения эмиссионной детали, необходимо вычесть подстилающее крыло широкой компоненты. Сложность процедуры вычитания обусловлена тем, что точная форма крыла неизвестна. Ниже описана процедура выделения эмиссионной детали, которая наблюдалась нами в спектре сейфертовской галактики NGC4151 в 2003–2010 годах.

На рис. 1 приведены фрагменты спектрограмм NGC4151, полученных в Астрофизическом институте в 2003–2008 годах. Профили даны в линейной шкале длин волн, приведённой к системе длин волн наблюдаемой галактики. Диапазон длин волн: $\lambda 6400 \text{ \AA}$ (левая граница «кадра») – $\lambda 6780 \text{ \AA}$ (правая граница «кадра»). Тонкие вертикальные линии в каждом «кадре» указывают лабораторные (несмещённые) положения, характерные для сейфертовских галактик эмиссий атомов и ионов: $[\text{NII}]\lambda 6548$, $(\text{H}\alpha)\lambda 6563$, $[\text{NII}]\lambda 6583$, $[\text{HeI}]\lambda 6678$, $[\text{SII}]\lambda 6717$, $[\text{SII}]\lambda 6731$. По оси ординат в каждом «кадре» – интенсивность излучения в относительных единицах. Стрелки указывают на эмиссионную деталь на «красном» крыле широкой компоненты линии $\text{H}\alpha$.

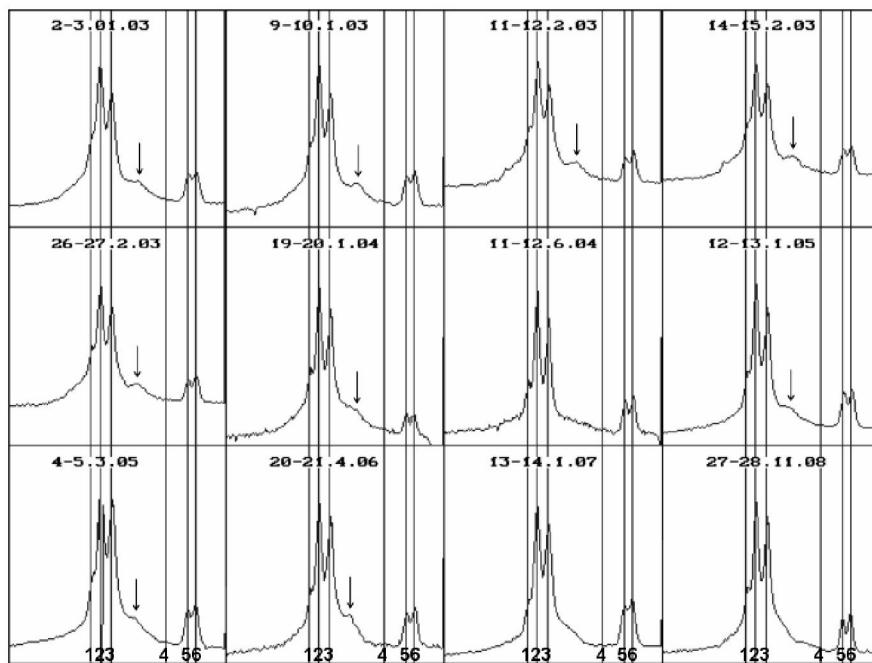


Рис. 1. Спектры сейфертовской галактики NGC4151 в диапазоне длин волн $\lambda\lambda 6400\text{--}6780 \text{ \AA}$.
Наблюдения выполнения в 2003–2008 годах в АФИФ на телескопе АЗТ-8

Для обработки спектрограмм использовались оригинальные программы, которые позволяют аппроксимировать неискажённую эмиссионным объектом широкую компоненту линии Нα, ортонормированным полиномом 10-го – 14-го порядка и вычесть результат аппроксимации из исходного спектра.

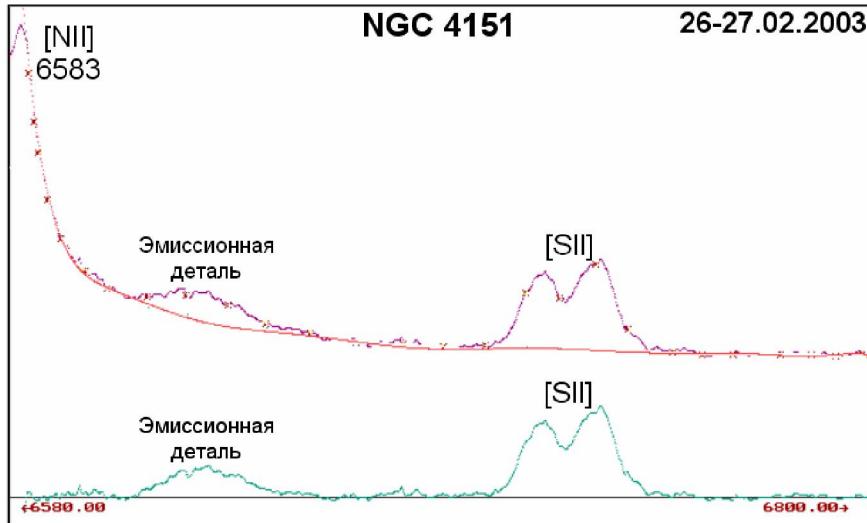


Рис. 2. Пример аппроксимации крыла широкой компоненты линии Нα ортонормированным полиномом 12-го порядка (гладкая линия). Нижняя кривая – результат вычитания аппроксимированного крыла из спектра NGC4151, полученного 26-27 февраля 2003 года

На рис. 2 показан пример построения крыла широкой компоненты линии Нα при помощи аппроксимации (гладкая кривая в верхней части рисунка). В нижней части рис. 2 показаны профили эмиссионной детали и дублета серы, оставшиеся после вычитания кривой, аппроксимирующей крыло широкой компоненты линии Нα. Поток излучения в линиях [SII] считался постоянным и принимался равным 1.48×10^{-12} эрг·см $^{-2}$ ·с $^{-1}$ [7]. Это значение использовалось для абсолютной калибровки потока излучения эмиссионной детали. Приведённые в нижней части рис. 2 профили эмиссионной детали совместно с дублетом серы удобно использовать и для измерения лучевой скорости детали.

Заключение. В данной работе описан один из подготовительных этапов, необходимых для исследования движения эмиссионных объектов в окрестности ЦТ сейфертовских галактик. Исследование движения эмиссионных объектов в конечном итоге позволяет строить орбиты объектов и измерять массу ЦТ. Важно отметить, что по мере удаления объекта от ЦТ воздействующая на него гравитирующая масса постепенно увеличивается за счет окружающей ЦТ материи и должна привести к изменению первоначальной орбиты. Если удастся проследить движение эмиссионного объекта на достаточно большом расстоянии от ЦТ, то отклонение его лучевой скорости от расчетной позволит оценить добавившуюся массу и даже получить ее распределение как функцию от расстояния до ЦТ.

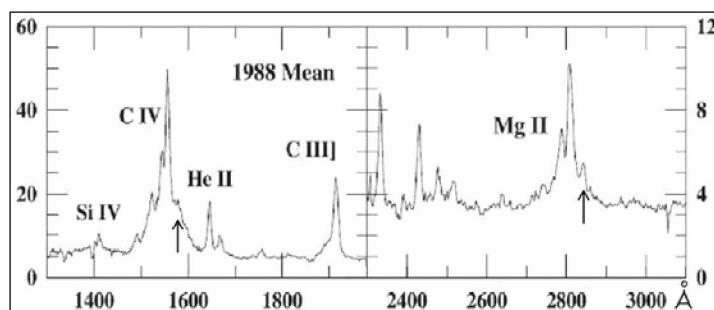


Рис. 3. Примеры спектрограмм галактики NGC4151 в ультрафиолете[5]. Стрелками указана эмиссионная деталь на «красном» крыле линий CIV ($\lambda=1548\text{Å}$) и MgII ($\lambda=2800\text{ Å}$) [5]

Очевидно, что эмиссия от объекта по мере его удаления от ЦТ будет уменьшаться. Поэтому следует использовать предельно высококачественные спектрограммы с минимальным уровнем шума. Благоприятным фактором мог быть высокий уровень потока ионизующего излучения от ЦТ в этот период времени, благодаря чему эмиссионную деталь легче наблюдать.

Появление эмиссионных деталей на крыльях широких линий в спектрах галактик Сейферта – достаточно частое явление. Для их изучения необходимы детальные спектральные и фотометрические наблюдения, в том числе и в УФ диапазоне.

В частности, особенно важными представляются исследования сейфертовских галактик в ультрафиолете (длины волн 1300–2900 Å.) Это обусловлено тем, что в УФ диапазоне – наибольшая амплитуда изменения континуума и имеется ряд сильных отдельных разрешенных эмиссионных линий (рис. 3).

Работа выполнена в рамках ПФИ, шифр Ф-0487.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бочкарев Н.Г* Спектральный и фотометрический мониторинг AGN с целью эхокартирования: прошлое, настоящее, будущее // Nasiraddin Tusi and Modern Astronomy: Proceedings of UNESCO / Azerbaijani Government / ANAS / ShAO International Conference (Eds E.S.Babayev, A.S. Guluyev). Baku: Poligraf-Servis, 2002. P. 70-112.
2. *Boksenberg A., Shortridge K., Allen D.A.* et al. New observations of the optical spectrum of the Seyfert galaxy NGC 4151 // MNRAS. 1975. V. 173. P. 381-396.
3. *Ulrich M.-H., Boksenberg A., Penston M.V.* et al. The ultraviolet spectrum of NGC 4151 from 1978 to 1990 – General characteristics and evolution // Ap. J. 1991. V. 382. P. 483-500.
4. *Oknyanskij V.L. and van Groningen E.* Optical Spectral Variability of NGC 4151 during 1990 // Astron. and Asrroph. Transactions. 1997. V. 14. Iss. 2. P. 105-118.
5. *Metzroth K.G., Onken Ch.A., Peterson B.M.* The Mass of the Central Black Hole in the Seyfert Galaxy NGC 4151 // Ap. J. 2006. V. 647. P. 902-907.
6. *Seyfert C.K.* Nuclear Emission in Spiral Nebulae // Ap. J. 1943. V. 97. P. 28-40.
7. *Денисюк Э.К., Валиуллин Р.Р., Аргайт Р., Гайсина В.Н.* Поведение широкой компоненты линии Нα в сейфертовской галактике NGC 4151 в 1976–2003 гг. // Астроном. журн. 2004. Т. 81, № 8. С. 687-693.
8. *Denisyuk E.K.* Moving variable emission lines in the spectrum of the Seyfert galaxy NGC4151 // Astron. and Asrroph. Transactions. 1996. V. 10. P. 279-284.
9. *Demchenko B., Denissiyuk E.* Estimates of Mass and Possible Results of Observations of Emission Features in the Spectrum of the Seyfert Galaxy NGC 4151 // 2001. Astrofizika. V. 44. P. 548-550.

Э. К. Денисюк, Р. Р. Валиуллин, В. Н. Гайсина

СЕЙФЕРТ ГАЛАКТИКАНЫҢ ЦЕНТРІНДЕГІ ДЕНЕЛЕР МАҢЫНДА ОРНАЛАСҚАН ЭМИССИЯЛЫҚ ОБЪЕКТИЛЕРДІҢ ҚОЗГАЛЫСТАРЫН ЗЕРТТЕУДІҢ ӘДІСТЕРИ

Спектрлік және фотометрлік бақылаулар негізінде Сейферт галактикасының центрінде орналасқан денелердің массаларын және басқа да қасиеттерін анықтаудың жаңа жолдары көрсетілған.

E. K. Denissiyuk, R. R. Valiullin, V. N. Gaisina

THE RESEARCHING METHOD OF THE EMISSION OBJECT MOVEMENT IN THE VICINITIES OF THE CENTRAL BODIES OF SEYFERT GALAXIES

The new approach to definition of masses and other parameters of the central bodies in Seyfert galaxies on the base of spectral and photometric observations is considered.