# **АСТРОФИЗИКА**

ФЕВРАЛЬ, 1996

ВЫПУСК 1

УДК: 524.4-823

**TOM 39** 

# СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЯДЕР СЕЙФЕРТОВСКИХ ГАЛАКТИК NGC 4051, NGC 7469, NGC 1275

#### В.В.ПРОКОФЬЕВА, Л.М.ШАРИПОВА

Поступила 11 января 1996 Принята к печати 25 февраля 1996

Цифровой телевизионный комплекс, оснащенный оригинальным бесщелевым спектрографом с прозрачными дифракционными решетками, работающий на 0.5-метровом телескопе Крымской астрофизической обсерватории, используется для спектрофотометрических наблюдений ядер сейфертовских галактик. Получены абсолютные распределения энергии в спектрах ядер трех сейфертовских галактик NGC 4501, NGC 7469, NGC 1275 в диапазоне длин волн 4000-7000 Å. Вычислены синтетические звездные величины в полосе V. Аппаратура может быть применена для исследования спектральной переменности излучения ядер сейфертовских галактик в шкале времени десятки мин и более.

1. Введение. Феномен активности ядер галактик Сейферта уже более 20 лет привлекает внимание ведущих астрофизиков. Подробно исследованы характеристики их изучения в широком диапазоне спектра от радио до гамма. Открыта и широко обсуждается проблема переменности их излучения в шкалах времени от десятков лет до суток и менее [1,2].

Наиболее интересным и трудным является исследование быстрой переменности, ибо теоретически се трудно объяснить, а наблюдательно трудно доказать. Обычные спектральные наблюдения дают лишь относительные измерения интенсивностей линий относительно друг друга или относительно непрерывного спектра. Одним из путей развития работ в этом направлении является создание аппаратуры, обеспечивающей получение больших рядов спсктров ядср сейфертовских галактик, имеющих абсолютную энергетичсскую калибровку и высокое временнос разрешение. Это позволило бы провести исследование световых кривых в различных участках спектра.

Спектрофотомстрические наблюдения ядер галактик обычно проводятся на средних и крупных телескопах, оснащенных различными спектральными приборами, что обсепечивает решение разнообразных задач [3-6]. Малые телескопы в настоящее время, как правило, недостаточно оснащены современной светоприемной аппаратурой. В какой-то мере этим можно объяснить несколько ослабленный интерес к их использованию. Однако оснащенность таких телескопов специальными диспергирующими и оптическими системами, высокочувствительными светоприемниками и современными средствами сбора информации позволяет им стать вполне конкурентоспособными в решении ряда наблюдательных задач.

В Крымской астрофизической обсерватории около десяти лет на базе малого 0.5-м менисконого телескопа МТМ-500 проводятся спектрофотометрические наблюдения различных астрономических объектов. Наблюдения звезд с блеском 8<sup>m</sup><m<sub>v</sub><14<sup>m</sup>, полученные в течение последних трех лет, позволили создать ряд вторичных спектрофотометрических стандартов, расположенных вблизи Северного полюса [7]. Точность измерений внеатмосферных монохроматических освещенностей оказалась равной 2-3% для звезд 9-10<sup>m</sup> и 3-4% для звезд 11-12<sup>m</sup> в интервале длин волн от 4000 до 7200 Å.

Высокочувствительная светоприемная аппаратура данного телескопа, современные средства сбора и обработка информации позволяют проводить спектрофотометрические исследования ядер сейфертовских галактик до m<sub>v</sub><14<sup>m</sup>. В качестве примера в данной работе приведены результаты наблюдений трех сейфертовских галактик NGC 1275, NGC 4051, NGC 7469.

2. Аппаратура. Наблюдения проводились на цифровом телевизионном комплексе 0.5-м менискового телескопа МТМ-500 [8,9]. Для получения энергетически калиброванных бесщелевых спектров был разработан, сконструирован и изготовлен специальный афокальный дифракционный спектрограф прямого зрения [10]. Он преставляет собой прозрачную дифракционную решетку, устаңовленную между двумя линзами отрицательной и положительной, которые в сумме дают нулевую оптическую силу. Линзы устанавливаются в сходящемся пучке света перед фокальной плоскостью зеркального телескопа так, что расположенная между ними прозрачная дифракционная решетка оказывается в параллельном пучке. Вместо изображений звезд в фокальной плоскости телескопа появляются изображения нулевых порядков и спектров. Для уменьшения комы и астигматизма полученных изображений, рядом с дифракционной решеткой в параллельном пучке устанавливается призма

### СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

малого угла отклонения, которая уводит нулевой порядок находящейся в центре поля звезды на край фотокатода телевизионной трубки. При этом в центре фотокатода оказывается коротковолновая область спектра, а на противоположном краю - длинноволновая. Введение призмы в 1987г. обеспечило достаточно хорошес качество изображений по всему полю от нулевого порядка до красной области спектра. Нулевой порядок используется как репер шкалы длин волн и позволяет иметь калибровку длин волн для всех объсктов.

В настоящее время используется набор прозрачных дифракционных решеток, имеющих концентрацию света 70% в первом порядке на длине волны 4500Å, число штрихов на миллиметр 100, 150 и 200, которые дают линейную дисперсию в фокальной плоскости телескопа 600, 450 и 300 Å/мм, соответственно [11]. При наибольшей дисперсии нулевой порядок оказывается вне поля зрения, поэтому для наблюдений галактик используются только две первые решетки. Оптические блоки с прозрачными дифракционными решетками установлены на специальной турели, что позволяет дистанционно из помещения, где расположен телевизионный комплекс, производить установку нужной решетки. Из этого же помещения осуществляется подфокусировка телескопа и тонкое гидирование объекта при наблюдениях.

В качестве приемника свста используется высокочувствительная передающая телевизионная трубка ЛИ-804, представляющая собой сочленение в одной стеклянной колбе изокона с каскадом электроннооптического усиления сигнала. Мультищелочной входной фотоквтод с чувствительностью, расширенной в коротковолновую область спектра с максимумом на длине волны 4000Å был изготовлен по заказу обсерватории [12]. Телевизионная аппаратура имеет стандарт разложения 1000 строк и обеспечивает разрешающую способность на фотокатоде 15 штр/мм при оптимальной освещенности. Длительность телевизионного кадра составляет 0.09 с. Линейность отклика телевизионной системы на падающий на фотокатод свет была подкорректирована схемным путем и проверена в лабораторных условиях. В диапазоне освещенностей от 0 до 100 отклонения от линейности невелики и составляют менее одного процента. Специально проведенные исследования ошибки поля показали, что ее микронеоднородности имеют амплитуду 2-3% и ими можно пренебречь. Микронеоднородности давали плавное изменение чувствительности вдоль спектра. Амплитуда этих изменений достигала 30%, поэтому была разработана методика определения ошибки поля и ее учета.

При наблюдениях спектры располагаются вдоль кадровой развертки. Часть телевизионного кадра в виде вытянутого вдоль спектра прямоугольника выделяется специально формируемым стробом, контуры которого видны на экране монитора, на котором наблюдаются изображения спектров всех звезд поля. Положение строба на экране регулируется, и он устанавливается так, чтобы изображение спектра исследуемого объекта нахолилось бы полоностью внутри него. Информация, находящаяся внутри строба, для каждой строки интегрируется, оцифровывасия и суммирустся в ЭВМ для заданного числа телевизионных считывлений. Последнос необходимо для поднятия отношения сигнала к шуму, которос в одном считывании составляет 10-20, в зависимости от уровня освещенности фотокатода. Увеличение отношения сигнала к шуму при суммировании информации от N телевизионных кадров, как показали специальные исследования, идет примерно по закону, близкому к N<sup>0.5</sup>. При суммировании информации от нескольких сот телевизионных калоов достигается точность около 1%.

Для сбора и обработки цифровой информации применялись различные вычислительные устройства. В первых наблюдениях низкое быстродействие мини-ЭВМ ограничивало число используемых для оцифровки телевизионных строк сначала двумястами, затем шестистами. В настоящее время оцифровываются все 1000 строк и информация накапливается в памяти PC AT 286.

Для увеличения проницающей способности аппаратуры производится накопление информации на мишени передающей трубки. Охлаждение ее до 0°С во время наблюдений позволяло накапливать потенциальный рельеф на мишени в течение 10 с, вместо обычных 0.09 с. Это увеличивало проницающую способность и отношение сигнала к шуму почти в 100 раз по сравнению с обычным режимом работы телевизионной трубки [13]. Отметим, что накопление на мишени идет практически при сохранении закона втаимозаместимости и поэтому оно более эффективно, чем суммирование информации в ЭВМ.

Спектральное разрешение бесщелевого цифрового спектрофотометра определяется разрешающей способностью телевизионной аппаратуры, угловыми размерами наблюдаемого объекта и зависит от качества изображения при наблюдениях. Наблюдения обсуждаемых в настоящей статье галактик были получены с дифракционной решеткой 100 штр/мм. Разрешающая способность составляла 60-80Å в зависимости от качества изображений. Отметим, что решетка, имеющая 150 штр/мм, обеспечивает в полтора раза лучшее разрешение, но меньшее отношение сигнала к шуму.

3. Методика наблюдений и обработки спектров. Методика спектрофотометрических наблюдений на телевизионном цифровом комплексе определяется его особенностями и требованиями к полученным результатам. Для повышения надежности и точности абсолютных измерений внеатмосферной энергетической освещенности для ядер галактик нами была разработана и принята следующая методика наблюдений и обработки полученных данных.

Энергетическая калибровка каждой записи спектра осуществлялась с помощью специального устройства [14], размещенного около фотокатода и проектирующего на него в промежутке между нулевым порядком и спектром, расположенные в ряд изображения семи искуственных звезд. Среднее значение яркости этих звезд, вычисленное по цифровым записям семи их изображений, использовалось нами как "эталон яркости". Для каждого наблюдаемого объекта, во время регистрации данных уровень интенсивности эталона яркости устанавливался путем изменения силы тока через освещающие его свстодиоды так, чтобы он был сравним с уровнем яркости изучаемого спектра. Отметим, что опыт фотометрии звезд на телевизионном комплексе позволил выполнить абсолютную калибровку искусственных звезд в фотометрической полосе V, которая, как показали исследования, держится в пределах нескольких сотых звездной величины на протяжении нескольких лет [15]. Опыт создания ряда вторичных спектров фотомстрических стандартов вблизи Северного Полюса показал возможность калибровки эталона яркости в единицах внеатмосферной энергетической освещенности в спектральной области 5550Å [7].

Шкала длин волн определялась по наблюдениям специально отобранных планстарных туманностей, имеющих угловой размер менес трех угловых секунд и линии излучения, образующие две примерно одинаковые по яркости бленды. Эффективные длины волн этих бленд и нулевой порядок спектра планстарной туманности использовались для определения нульпункта шкалы длин волн и дисперсии. Геометрические искажения по полю телевизионной трубки учитывались по изображениям специально изготовленной высокоточной сетки, изображение которой проектировалось на фотокатод. Определение ошибки поля производилось по цифровым записям, полученным при равномерной освещенности фотокатода с помощью специального устройства на светодиодах [16]. Спектр планетарной туманности, изображение сетки и равномерная освещенность фотокатода регистрировались каждый раз перед началом наблюдений, а также при изменениях режима работы трубки.

Для контроля качества наблюдений обычно делалось не менее двух записей спектров наблюдаемого объекта. Каждый спектр был на фоне ночного неба, что требовало его отдельной регистрации и вычитания.

Программа наблюдений составлялась так, что до и после записей спектров ядер галактик производились записи спектров вторичных спектрофотомстрических стандартов, имеющих примерно такой же блеск как ядра галактик. В качестве этих стандартов использовались звезды с известным абсолютным распределением энергии из каталога [17].

Вычисление внеатмосферной энергетической освещенности от исследуемых объектов производилось по формуле:

$$E_{g} = E_{g} \cdot \frac{I_{g}}{I_{g}} \cdot \frac{T_{g}^{1.45}}{T_{g}^{1.45}} \cdot P^{-\Delta x}.$$

где  $E_{g}$ ,  $E_{g}$  - внеатмосферные монохроматические освещенности для ядра исследуемой галактики и звезды-стандарта  $I_{g}$ ,  $I_{g}$  - относительные интенсивности в спектрах исследуемой галактики и звезды-стандарта, определенные относительно интенсивности эталона яркости,  $T_{g}$ ,  $T_{g}$  - силы токов, проходящих через светодиоды проектора эталона яркости, при записи спектров галактики звезды-стандарта, P - коэффициент прозрачности земной атмосферы  $\Delta x$  - разница воздушных масс исследуемых звезд и звезд-стандартов. Коэффициент 1.45 был найден эмпирически в лабораторных условиях.

4. Результаты наблюдений. Для наблюдений были выбраны сейфертовские галактики, имеющие яркие ядра, хорошо выделяющиеся на фоне периферийных областей. Это было сделано потому, что при использовании бесщелевого спектрографа спектр ядра располагается на фоне неба из спектров ветвей галактики. Наблюдения проводились с шириной строба от 15 до 22 угл.с.

На рис. 1 на верхней панели представлены 4 записи спектров ядра галактики NGC 4051, в которых интенсивность определена относительно

106



Рис. 1. а - четыре спектра галактики NGC 4051, полученные 5 мая 1986г. со временем интегрирования (экспозицией) 3 чин. последовательно друг за другом. Номера кривых 1, 2, 3, 4 соответствует моментам начала экспозиций 22<sup>b</sup> 16<sup>m</sup>, 22<sup>b</sup> 35<sup>m</sup>, 22<sup>b</sup> 47<sup>m</sup>, 22<sup>b</sup> 52<sup>m</sup> UT. По оси ординат отложены отношения интенсивностей записей спектров галактик *I* к интенсивности эталона яркости *I*<sub>0</sub>. по оси абсписс - длина волны, b - относительная средняя квадратичная ошибка измерения отношения *I/I*<sub>0</sub> в зависимости от длины волны.

интенсивности эталона яркости. Время накопления на мишени трубки составляло 3с, а в ЭВМ была усреднена информация от 200 телевизионных кадров. Полнос время экспонирования каждого спектра составило 6 мин. На нижней панели приведена относительная средняя квадратичная ошибка, вычисленная по этим записям для каждого интервала длин волн. В области спектра от 5000 до 7000 Å она в среднем составляет 3-4%. Приведенные результаты показывают достаточно хорошую внутреннюю сходимость записей. Короткие 6-минутные экспозиции позволяют проводить исследования ядер галактик с высоким временным разрешением.

Распределение энергии в абсолютных энергетических единицах, полученное нами для трех ядер сейфертовских галактик NGC 4051, NGC 7469 и NGC 1275, приведено на рис. 2. Для первого из них в качестве спектрофотометрического стандарта был использован HZ 44, для второго



Рис. 2. Абсолютные распределения энергии в спектрах трех сейфертовских галактик. Номера галактик указаны в центре графиков, даты наблюдений - справа, а вычисленные сантетические звездные валичины в полосе V - слева.

- EG-162, для NGC 1275 в 1988 г. - Hiltner - 102, а в 1991 г. - Hiltner - 600 [17]. Все спектры показывают наличие эмиссии в области линий OIII 4959-5007 Å и водорода H<sub>в</sub> 4861 Å в виде бленды и в области линий водорода H<sub>в</sub> 6563 Å и NII 6548 - 6583 Å также в виде бленды. Для их разрешения необходима более высокая дисперсия.

Вычисленные по полученному нами абсолютному спектральному распределению энергии синтетические звездные величины в полосе V приведены для каждой галактики слева на графиках рис. 2. Сравнение их с фотометрическими наблюдениями тех же галактик в полосе V затруднено сильными колебаниями блеска их ядер, что требовало знания их блеска на наши моменты наблюдений. Таких данных оказалось весьма недостаточно. Приведем некоторые сравнения. Например, синтетическая величина V галактики NGC 7469 оказалось на 0.5<sup>m</sup> ярче, чем она была измерена в диафрагме размером 14 угл.с. в 1987г. [18]. Галактика NGC 1275 в 1991г. наблюдалась одновременно с нами в диафрагме 20 угл.с. [19], и синтетическая величина V оказалось на 0.3<sup>m</sup> ярче, чем фотометрическая.

108

#### СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Отличие синтетических звездных величии в сторону увеличения яркости объясняется вкладом периферийных областей галактики, попадающих в прямоугольник шириной около 20 угл.с. выделяемый стробом около изображения спектра и нулевого порядка галактики. Поэтому синтетические звездные величины V оказались близкими к фотометрическим данным, полученным с большими диафрагмами.

5. Заключение. Опыт спектрофотометрических наблюдений ядер сейфертовских галактик показывает перспективность использования малого телескопа для исследований спектральной переменности в излучении ядер сейфертовских галактик на малых временах. Возможна постановка задачи получения квазимонохроматических световых кривых их ядер в шкале времени от 10 мин и выше. Малый телескоп позволяет исследовать один и тот же объект в течение длительного времени, что дает большой однородный наблюдательный материал, пригодный для частотного и статистического анализа.

Крымская астрофизическая обсерватория

# SPECTROPHOTOMETRIC OBSERVATIONS OF SEYFERT GALAXIES NUCLEI NGC 4051, NGC 7469, NGC 1275

# V.V.PROKOF'EVA, L.M.SHARIPOVA

The digital TV complex with original slitless spectrograph having transparent diffraction gratings and 0.5-meter telescope of the Crimean Astrophysical Observatory were used for spectrophotometric observation of the Seyfert galaxies nuclei. The absolute spectral distribution were obtained for 3 Seyfert galaxies NGC 4051, NGC 7469, NGC 1275 in the region 4000 - 7000 Å. The syntetic stellar magnitudes in passband V were calculated. The apparatus may be used for investigation of spectral variations of the Seyfert galaxies nuclei in the temporal scale of ten and more minutes.

## В.В.ПРОКОФЬЕВА, Л.М.ШАРИПОВА

## ЛИГЕРАТУРА

- 1. В.М.Лютый, Астрон. ж., 49, 930, 1972.
- 2. I.I.Pronik, Variability in stars and galaxies, Proceedings of the fifth European Regional meeting in Astronomy, Belgium, 1980, P. C. 1. 2.
- 3. K.S.Anderson, Astrophys. J, 162, 743, 1970.
- 4. G.A.Shields, J.B.Oke, Publ. Astron. Soc. Pac., 87, 520, 1975.
- 5. A.G. de Bruyn, W.L.W Sargent, Astron. J., 83, 1474, 1978.
- 6. R.C.Kennicutt, Astrophys. J., 79, 255, 1992.
- 7. В.В.Прокофьева, Л.М.Шарипова, Астрон. ж., в печати.
- 8. А.Н.Абраменко, Н И Бондарь, В.А.Майер, Е.П.Павленко, В.В.Прокофьева, Л.М.Шарипона, Изв. Крым. астроф. обсер., 78, 182, 1988.
- A.N.Abramenko, Yu.N.Alexandrin, V.N.Yakushin, V.V.Prokof'eva, Instrumentation for astronomy with large optical telescopes, Proc. of IAU Coll. № 67. Ed C. M. Humphries, Dordecht, Holland, Beidel Publ. Comp., 1982, p. 175.
- 10. В.И.Проник, Л.М.Шарипова, Авторское свидетельство, Бюллютень изобретений № 23, 23 июня, 1993.
- 11. А.Н.Абраменко, В.А.Майер, В.В.Прокофьева, Л.М.Шарипова, Оптикомеханическая промышленность, №2, 10, 1991.
- 12. А.Н.Абраменко, Л.Г.Богачева, А.Е.Верхошенцева, К.И.Осьминкина, В.В.Прокофьева, Е.П.Павленко, Л.М.Шарипова, Оптико-механическая промышленность, №7, 78, 1991.
- А.Н.Абраменко, Е.С.Агапов, В.Ф.Анисимов, Н.Д.Галинский, В.В.Прокофьева, С.М.Синенок, Телевизионная встрономия, ред. В. Б. Никонов, Наука, М., 90, 1984.
- А.Н.Абраменко, Е.П.Павленко, В.В.Прокофьева. Фотомстрические и поляримстрические исследования небесных тел. Киев. Наукова думка. 184, 1985.
- 15. В.В.Бочков, Е.П.Павленко, Изв. Крым. асртофиз. обсер., 88, 109, 1993.
- А.Н.Абраменко, Е.С.Агапов, В.Ф.Анисимов, Н.Д.Галинский, В.В.Прокофьева, С.М.Синенок, Телевизионная астрономия, ред. В. Б. Никонов, Наука, М., 124, 1984.
- 17. J.V.Barnes, D.S.Hayes, IRS Standard star manual, Kitt Peak National Observatory, 1984.
- 18. В.Т.Дорошенко, В.М.Лютый, В.Ю.Рахимов, Письма в Астрон. ж. 15 №6, 483, 1989.
- 19. Н.И.Меркулова, Л.П.Метик, Изв. Крым. астроф. обсер., 90, 178, 1995.