

*В. Н. ГАЙСИНА, Э. К. ДЕНИСЮК, Р. Р. ВАЛИУЛЛИН,
А. В. КУСАКИН, С. А. ШОМШЕКОВА, Р. И. КОКУМБАЕВА*

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

ПЕРЕМЕННОСТЬ СЕЙФЕРТОВСКОЙ ГАЛАТИКИ NGC 4151

Цель работы: Провести анализ спектров ядра сейфертовской галактики NGC 4151, полученных в Астрофизическом Институте им. В.Г. Фесенкова (АФИФ), на интервале времени в 39 лет.

Методы исследований: Абсолютные значения потоков в линиях H α и H β получены с использованием стандартных звезд с известным распределением энергии в их спектрах. Все вычисления проведены по авторским программам на языке Си.

Область применения: Спектральные и фотометрические исследования активных ядер галактик.

Результаты и выводы: С 1984 по 1989 г. наблюдается 5-ти летний минимум. Полученные в это время спектры показали, что почти полностью исчезла широкая компонента разрешенных линий, и они стали такими же узкими, как и запрещенные, т.е. NGC 4151 по виду спектра в это время следует классифицировать как Sy 2.

Ключевые слова: сейфертовская галактика (СГ), спектральная переменность, фотометрическая переменность.

Тіпек сөздер: сейферт ғаламы (СҒ), спектрлік айнымалылық, фотометрік айнымалылық.

Keywords: seyfert galaxy, spectral and fotometric variability.

Введение

Проведены исследования спектров ядра галактики Сейферта NGC 4151, полученных в 1976-2013 гг., на предмет спектральной переменности эмиссионных линий H α и H β под воздействием изменений ионизирующего потока центрального тела (ЦТ) галактики.

Первые спектрограммы сейфертовской галактики (СГ) NGC4151 в АФИФ были получены в 1976 г. Э.К. Денисюком. В период времени 1976-1988 гг. наблюдения СГ NGC4151 проводились достаточно редко. В эти годы переменность сейфертовских галактик на коротких интервалах времени не являлась установленным фактом. Но с 1989 года частота наблюдений галактики значительно возросла. В АФИФ стали получать до нескольких десятков спектрограмм за каждый наблюдательный сезон. Всего с 1976 по 2013 гг. было получено 1 545 спектрограмм в двух областях непрерывного спектра с общей экспозицией 15 387 минут [1].



Координаты галактики:

$\alpha_{2000}=12^{\text{h}}10^{\text{m}}32^{\text{s}}.3$, $\delta_{2000}=+39^{\circ}24'24''$. Красное смещение $z = 0.0032$, тип галактики – SBab, класс – Sy 1. Галактика NGC 4151 находится в направлении созвездия Гончих Псов на расстоянии 43 миллиона световых лет и считается одной из самых близких к Млечному Пути сейфертовских галактик. Открыл ее Уильям Гершель в марте 1787 года.

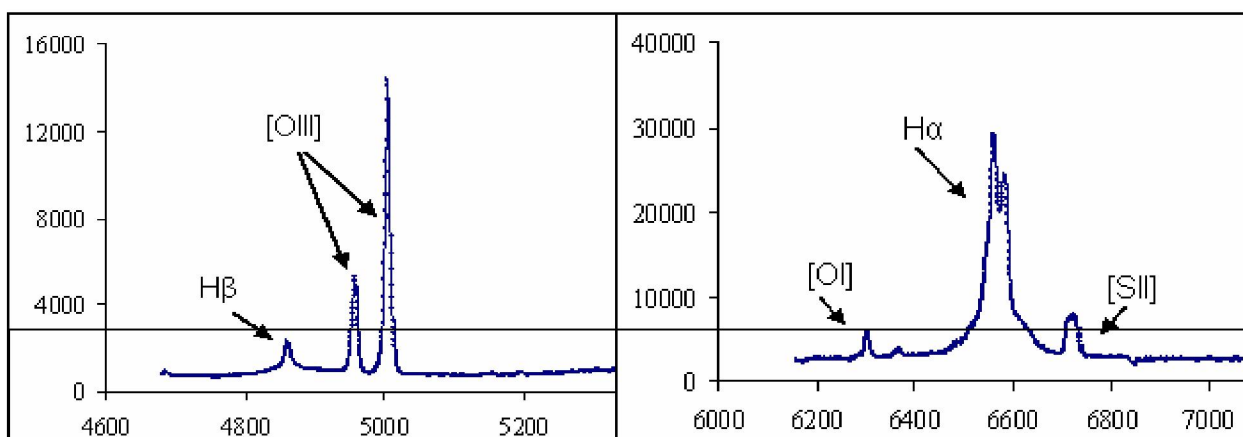
Высокая степень переменности и экстремальная яркость в УФ, оптике, радио и гамма диапазонах делает эту галактику очень популярной для астрофизических исследований.

Рисунок 1 – Сейфертовская галактика NGC 4151.
Изображение получено на телескопе Hubble

Наблюдения

Все наблюдения выполнены в Астрофизическом институте им. В.Г. Фесенкова (г.Алматы, Казахстан) на телескопе АЗТ-8 с диаметром главного зеркала 700 мм и фокусным расстоянием 11.2м. При наблюдении использовался дифракционный спектрограф оригинальной конструкции. До 2000 г. основным приемником излучения на выходе спектрографа был трехкаскадный ЭОП типа УМ-92, а регистрация проводилась на фотопленку типа А-600 или аналогичную, близкую по характеристикам.

Начиная с 2000 г. в качестве приемника излучения применяется CCD-матрица типа ST-7, а с конца 2002 г. – ST-8 (1530x1020, 9 мк). В зависимости от используемой дифракционной решетки и объектива камеры спектрограммы имели спектральное разрешение в пределах 2.5–5.0 Å. Ширина входной щели составляла 4"–10". Как правило, для повышения точности результатов спектр исследуемой галактики экспонировался от 2 до 6 раз подряд с экспозициями от 5 до 30 мин в зависимости от дисперсии и яркости ядра галактики.



По оси X – длина волны в Å, по оси Y – относительная интенсивность

Рисунок 2 – Спектр ядра галактики NGC 4151 в области
бальмеровской линии H β

Рисунок 3 – Спектр ядра галактики NGC 4151 в области
бальмеровской линии H α

Спектры галактики получены на телескопе АЗТ-8 в АФИФ.

Обработка и результаты

Первичная обработка заключалась в вычитании темнового тока, коррекции спектров за плоское поле, удаление (чистка) плохих пикселей матрицы, вычитание фона неба, привязка по длинам волн.

Спектральные наблюдения галактики проводятся в двух диапазонах: область линии H_{β} ($\lambda\lambda 4200-5500\text{\AA}$) и область линии H_{α} ($\lambda\lambda 6000-7100\text{\AA}$). Калибровка эмиссионной линии H_{α} проводилась по дуплету $[SII] \lambda 6717\text{\AA}$, $\lambda 6731\text{\AA}$, а эмиссионной линии H_{β} – по линии $[OIII]\lambda 5007\text{\AA}$. Абсолютные потоки излучения в дуплете $[SII] \lambda 6717\text{\AA}$, $\lambda 6731\text{\AA}$ и в линии $[OIII]\lambda 5007\text{\AA}$ вычислялись с использованием спектров стандартной звезды HD120315 с известным распределением энергии в спектре [2]. Абсолютное значение потока излучения в линиях $[SII] \lambda 6717\text{\AA} + \lambda 6731\text{\AA}$ по нашим измерениям составило $1.48 \cdot 10^{-12} \text{ ergs} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$, а в линии $[OIII]\lambda 5007\text{\AA}$ – $1.25 \cdot 10^{-11} \text{ ergs} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$.

Абсолютные значения потоков излучения в эмиссионных линиях H_{β} и H_{α} в спектрах галактики NGC 4151 приводятся в таблицах 1 и 2, а кривая изменения потоков излучения в линиях H_{β} и H_{α} показана на рисунке 3.

Таблица 1 – Абсолютные значения потока излучения в эмиссионной линии H_{β} для галактики NGC 4151

Дата	04.02. 1976	09.03. 1986	14.02. 1988	29.01. 1989	02.02. 1989	12.03. 1989	29.03. 1989	12.04. 1989	28.05. 1989	13.06. 1989
JD	2812	6498	7205	7555	7559	7597	7614	7628	7674	7690
$F_{H_{\beta}}$	0.61	0.53	0.39	0.49	0.51	0.53	0.51	0.36	0.48	0.51
Дата	21.12. 1989	02.03. 1990	21.04. 1990	20.01. 1991	06.05. 1991	06.02. 1992	05.04. 1992	25.01. 1993	18.05. 1993	05.01. 1994
JD	7881	7952	8002	8276	8382	8658	8717	9012	9125	9357
$F_{H_{\beta}}$	0.58	0.55	0.64	0.59	0.6	0.61	0.61	0.63	0.65	0.79
Дата	15.07. 1994	17.04. 1995	23.11. 1995	17.02. 1996	11.03. 1996	13.03. 1996	23.02. 1999	22.03. 2000	22.03. 2001	07.03. 2003
JD	9548	10038	10044	10130	10153	10155	11232	11625	11990	12705
$F_{H_{\beta}}$	1.08	0.98	1.1	0.99	0.99	1.18	0.89	0.85	0.74	0.41
Дата	28.04. 2003	19.01. 2005	04.03. 2005	21.03. 2005	12.01. 2006	27.01. 2007	16.03. 2007	26.04. 2007	01.04. 2008	29.05. 2008
JD	12757	13389	13433	13450	13747	14127	14175	14216	14557	14615
$F_{H_{\beta}}$	0.38	0.32	0.21	0.38	0.34	0.21	0.11	0.09	0.1	0.1
Дата	25.01. 2009	27.05. 2009	09.01. 2010	10.02. 2010	04.04. 2011	21.04. 2011	19.04. 2012	Дата – дата наблюдений, JD – юлианская дата – 2440000, $F_{H_{\beta}}$ – абсолютный поток в линии H_{β} в ед. $10^{-11} \text{ ergs s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$		
JD	14856	14978	15205	15237	15655	15672	16036			
$F_{H_{\beta}}$	0.11	0.53	0.26	0.3	0.45	0.44	0.77			

Таблица 2 – Абсолютные значения потока излучения в эмиссионной линии H_{α} для галактики NGC 4151

Дата	29.03. 1976	25.05. 1977	05.07. 1981	07.02. 1986	27.02. 1987	16.03. 1988	04.06. 1989	14.01. 1990	14.01. 1991	19.04. 1991
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
JD	2866	3288	4790	6468	6553	7236	7622	7905	8270	8365
$F_{H_{\alpha}}$	16.91	14.86	13.14	12.54	9.18	11.16	11.17	10.29	16.47	22.78
Дата	04.02. 1992	08.05. 1992	21.02. 1993	19.06. 1994	04.03. 1995	04.04. 1995	20.05. 1995	22.04. 1996	13.02. 1997	30.12. 1997
JD	8656	8750	9039	9522	9780	9811	9857	10195	10492	10812
$F_{H_{\alpha}}$	22.05	23.52	25.92	36.39	28.08	31.57	37.22	38.64	24.04	17.17
Дата	24.02. 1998	19.12. 1998	24.01. 1999	25.03. 1999	04.05. 1999	03.01. 2000	21.02. 2001	01.12. 2002	09.05. 2003	19.07. 2003
JD	10868	11166	11202	11262	11302	11546	11961	12609	12768	12839
$F_{H_{\alpha}}$	19.74	17.29	16.43	19.49	20.71	17.70	10.42	13.04	10.23	14.59
Дата	04.12. 2003	20.01. 2004	28.03. 2004	13.05. 2004	10.06. 2004	12.01. 2005	20.01. 2005	04.03. 2005	07.03. 2005	21.03. 2005
JD	12977	13024	13092	13138	13166	13382	13390	13433	13436	13450
$F_{H_{\alpha}}$	10.75	11.26	9.83	7.61	8.32	6.78	10.4	8.81	7.67	7.00

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Дата	20.05. 2005	14.01. 2006	20.04. 2006	21.04. 2006	13.01. 2007	14.01. 2007	01.03. 2007	04.06. 2008	01.07. 2008	27.11. 2008
JD	13510	13749	13845	13846	14133	14114	14160	14621	14648	14797
$F_{H\alpha}$	5.83	12.59	11.16	11.72	7.87	7.99	7.15	9.24	8.55	11.14
Дата	06.01. 2009	20.01. 2009	21.01. 2009	25.01. 2009	26.03. 2009	24.04. 2009	26.05. 2009	10.06. 2009	14.08. 2009	19.11. 2009
JD	14837	14851	14852	14856	14916	14945	14977	15000	15057	15154
$F_{H\alpha}$	10.29	12.62	9.74	10.01	11.97	12.58	14.06	13.63	10.30	12.70
Дата	19.01. 2010	15.02. 2010	27.01. 2011	07.04. 2011	20.04. 2012	24.05. 2012	11.06. 2012	Дата – дата наблюдений, JD – юлианская дата – 2440000, $F_{H\alpha}$ – абсолютный поток в ли- нии H_{α} в ед. $10^{-12} \text{ ergs s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$		
JD	15215	15242	15588	15658	16037	16071	16089			
$F_{H\alpha}$	14.68	14.59	14.67	15.72	15.38	15.24	15.50			

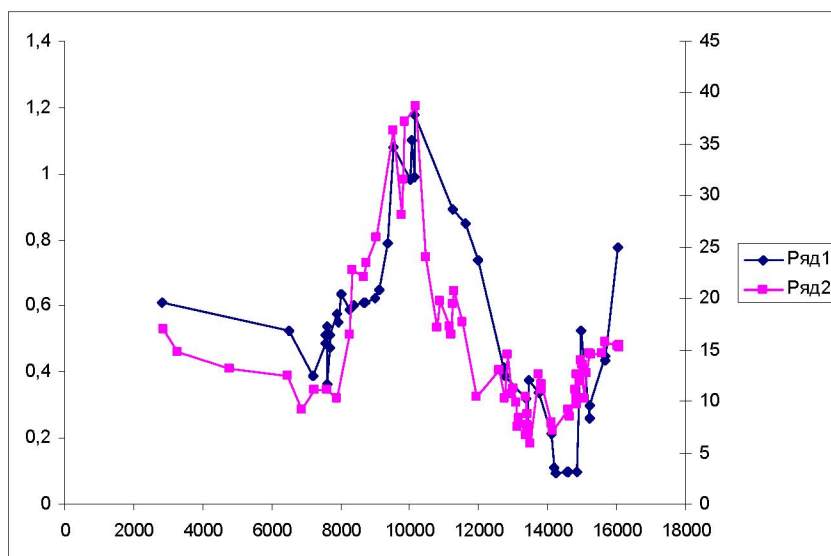


Рисунок 3 – Изменение абсолютного потока излучения в эмиссионной линии H_{β} – ряд 1 и линии H_{α} – ряд 2 в 1975-2013 годах

По оси X – юлианская дата – 2440000, по оси Y – шкала абсолютных потоков в эмиссионной линии H_{β} (слева) и в линии H_{α} (справа)

Для построения кривой блеска галактики NGC 4151 использовались прямые снимки поля галактики, полученные на телескопе АЗТ-8 Астрофизической обсерватории на

Каменском плато (АФИФ), данные фотометрических измерений В.М. Лютого и В.Т. Дорошенко [3] и данные, полученные 2009–2014 гг. на Тянь-Шаньской Астрономической обсерватории.

АФИФ одним из авторов данной статьи (Кусакиным А.В.).

Таблица 3 – Данные фотометрических измерений ядра галактики NGC 4151, полученные с использованием результатов наблюдений сотрудников АФИФ и других авторов [3]

Дата	25.12. 1975	29.03. 1976	25.05. 1977	17.03. 1978	05.04. 1979	24.01. 1980	17.06. 1980	05.07. 1981	24.03. 1982	27.05. 1982
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
JD	2771	2866	3288	3584	3968	4262	4407	4790	5052	5116
m_v	11.82	11.87	12.12	11.93	11.83	12.05	11.99	12.18	12.38	11.82
Дата	09.06. 1983	12.04. 1984	20.04. 1985	15.06. 1985	07.02. 1986	09.04. 1986	27.02. 1987	16.03. 1988	06.04. 1989	10.06. 1989
JD	5494	5802	6175	6231	6468	6529	6859	7236	7622	7687
m_v	11.86	11.68	12.77	12.41	12.46	12.70	12.90	12.59	12.79	12.09
Дата	14.01. 1990	02.03. 1990	21.04. 1990	14.01. 1991	19.04. 1991	04.02. 1992	08.05. 1992	25.01. 1993	21.02. 1993	05.01. 1994
JD	7905	7952	8002	8270	8365	8656	8750	9012	9039	9357
m_v	12.43	12.02	12.07	11.94	11.65	11.46	11.29	11.20	10.95	10.92
Дата	19.06. 1994	04.03. 1995	04.04. 1995	11.03. 1996	22.04. 1996	13.02. 1997	17.02. 1997	24.12. 1997	27.12. 1997	30.12. 1997
JD	9522	9780	9811	10153	10195	10492	10496	10806	10809	10812
m_v	11.19	11.16	10.65	10.68	10.63	10.59	10.52	11.07	10.99	10.91
Дата	24.02. 1998	19.12. 1998	24.01. 1999	25.03. 1999	03.01. 2000	22.03. 2000	21.02. 2001	22.03. 2001	01.12. 2002	09.05. 2003
JD	10868	11166	11202	11262	11546	11625	11961	11990	12609	12768

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
m_v	10.79	10.96	11.16	11.77	11.88	12.25	12.49	12.51	12.50	12.52
Дата	19.07. 2003	20.01. 2004	13.05. 2004	12.01. 2005	20.05. 2005	14.01. 2006	21.04. 2006	13.01. 2007	01.03. 2007	04.06. 2008
JD	12839	13024	13138	13382	13510	13749	13846	14113	14160	14621
m_v	12.54	12.59	12.62	12.68	12.61	12.57	12.54	12.63	12.44	12.41
Дата	27.11. 2008	06.01. 2009	24.04. 2009	19.11. 2009	15.02. 2010	27.01. 2011	07.04. 2011	04.04. 2012	11.04. 2012	12.04. 2012
JD	14797	14837	14945	15154	15242	15588	15658	16021	16028	16029
m_v	12.34	12.12	12.47	12.01	11.96	12.00	11.76	11.64	11.59	11.51
Дата	19.04. 2012	11.08. 2012	15.08. 2012	25.08. 2012	12.11. 2013	13.11. 2013	15.11. 2013	21.11. 2013	06.01. 2014	10.01. 2014
JD	16036	16150	16154	16164	16608	16609	16611	16617	16663	16667
m_v	11.24	11.62	11.67	11.59	10.73	10.2	10.2	10.1	10.2	10.24

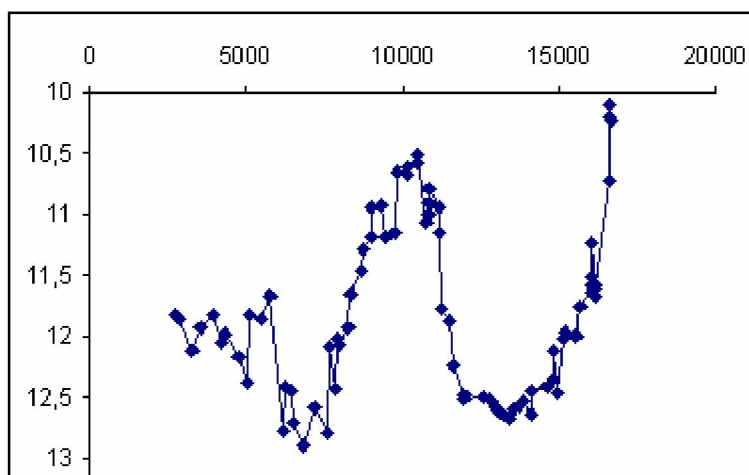
Дата – дата наблюдений, JD – юлианская дата – 2440000, m_v – звездная величина в фильтре V.

Рисунок 4 – Кривая блеска для ядра галактики NGC 4151 (1975- 2014гг.)

По оси X – юлианская дата – 2440000, по оси Y – звездная величина в фильтре V.

Заключение

С 1984 по 1989 года наблюдался 5 летний минимум. Полученные в это время спектры показали, что почти полностью исчезла широкая компонента разрешенных линий, и они стали такими же узкими, как и запрещенные, т.е. NGC 4151 по виду спектра в это время следует классифицировать как Sy 2. После минимума, который продолжался до 1990 г., абсолютный поток в разрешенных эмиссионных линиях H_β и H_α стал увеличиваться и в 1995–97 гг. достиг максимума. В 1990 г. снова появились широкие крылья разрешенных линий, т.е. объект опять стал классифицироваться как Sy 1. Весь цикл длился с 1990 по 2005 год. С 2008 года, видимо, начинается следующий цикл активности ядра галактики NGC 4151. Кривая блеска ведет себя подобным образом. Корреляция между кривой блеска и кривыми изменения абсолютных потоков в эмиссионных линиях H_β и H_α явно выражена.

В настоящее время изучение ядер галактик является одним из наиболее актуальных направлений астрономии. В различных галактиках проявления активности ядер неодинаковы. Очень большая мощность излучения, заметно меняющаяся за несколько лет, месяцев и дней, наблюдается в оптической, рентгеновской или инфракрасной области спектра. В некоторых галактиках ядра являются источниками высокоэнергичных элементарных частиц (электронов и протонов). Эти потоки частиц нередко покидают галактику в виде радиовыбросов или радиоджетов.

Активные ядра любого типа характеризуются очень большой светимостью по сравнению с ядрами нормальных галактик. Мощность излучения ядер сейфертовских галактик иногда достигает 10^{35} Вт, что сравнимо со светимостью нашей Галактики. Но эта огромная энергия выделяется в очень маленькой области размером менее 0,01 пк. В последнее десятилетие стало очень популярным предположение, что в центре галактик находятся черные дыры с массой в десятки или сотни миллионов масс Солнца, и активность ядер объясняется аккрецией вещества на черную дыру [4]. При падении на черную дыру за счет ее гравитационного поля вещество разгоняется до скоростей, близких к скорости света. Затем, при столкновении газовых масс, при наличии сильного магнитного поля вблизи черной дыры, энергия движения преобразуется в излучение электромагнитных волн, причем более эффективно, чем при ядерных реакциях синтеза.

Унификационные модели позволяют объяснить основные особенности АЯГ, но дальнейшие исследования этих объектов необходимы для лучшего понимания физических причин и свойств переменности (спектральной и фотометрической) и уточнения параметров моделей активных ядер галактик.

Авторы выражают благодарность Дорошенко В.Т. за предоставление фотометрических данных по галактике NGC 4151.

Работа выполнена в рамках программы 002 «Прикладные исследования в области космической деятельности».

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Денисюк Э. К., Валиуллин Р. Р., Аргайл Р., Гайсина В. Н. «Поведение широкой компоненты линии H_{α} в сейфертовской галактике NGC 4151 в 1976–2003 гг.», *Астрономический журнал*. – 2004. – Т.81. – № 8. – С. 687–693.
- 2 Харитонов А.В., Терещенко В.М., Князева Л.Н. Спектрофотометрический каталог звезд // Издательство «Наука» Казахской ССР. – 1988. – 480 с.
- 3 Лютый В.М., Дорошенко В.Т. Новый цикл активности NGC 4151: доказательства существования аккреционного диска // Письма в Астрономический журнал. – 1999. – Т. 25. – № 6. – С.403–413.
- 4 Черепашчук А.М. Сверхмассивные черные дыры в ядрах галактик // Соросовский обзорный журнал. – 2000. – Т. 6. – № 11. – С.69–76.

REFERENCES

- 1 Denissyuk E.K., Valiullin R.R., Argyle R.W., Gaisina V.N., *Astron. Reports*, **2004**, V.48., P.622–628.
- 2 Kharitonov A.V., Tereschenko V.M., Kniazeva L.N., *Spectrophotometric catalog of stars*, Almaty, Kazak University, **2011**. – 304. (in Russian).
- 3 Lyuty, V. M.; Doroshenko, V. T., *AstL*, **1999**. – V.25. – P.341.
- 4 Cherepashchuk A.M.. *Sorosovsky obzrevatelny Journal*, **2000**. V.6. – № 11. – PP. 69–76.

Резюме

В. Н. Гайсина, Э. К. Денисюк, Р. Р. Валиуллин,
А. В. Кусакин, С. А. Шомиекова, Р. И. Кокумбаева

(«В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты» ЕЖПС, Алматық)

NGC 4151 СЕЙФЕРТ ҒАЛАМЫНЫҢ АЙНЫМАЛЫЛЫҒЫ

Жұмыстың мақсаты: В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институтында, 39 жыл уақыт аралығындағы бақылаулардан алынған NGC 4151 сейферт ғаламы ядросының спектрлеріне талдау жүргізу.

Зерттеу әдісі: H_{α} және $H\beta$ сызықтарындағы ағынның абсолюттік мәні стандарт жұлдыздардың спектрлеріндегі белгілі энергияның таралуын қолдану арқылы алынды. Барлық есептеулер Си тіліндегі авторлық бағдарлама арқылы жүргізілді.

Қолдану аймағы: Ғаламдардың белсенді ядроларын спектрлік және фотометрлік зерттеулерінде қолданылады.

Нәтижелері және тұжырымдамалары: 1984–1989 жылдар аралығында бесжылдық минимум байқалады. Бұл уақытта алынған спектрлерден, рұқсат етілген сызықтардың кең компоненттері толығымен жоқ болып кеткен, олар тыйым салынған сызықтар тәрізді тар болып қалған, яғни NGC 4151 спектрінің түріне қарап, бұл уақыт аралығында оны Sy 2 классификациялауға болады.

Тірек сөздер: сейферт ғаламы (CF), спектрлік айнымалылық, фотометрлік айнымалылық.

Summary

*V. N. Gaisina, E. K. Denissyuk, R. R. Valiullin,
A. V. Kusakin, S. A. Shomshekova, R.I. Kokumbaeva*

(Fessenkov Astrophysical Institute, Almaty)

VARIABILITY OF SEYFERT GALAXY NGC 4151

Aim: To analyze the spectra of the seyfert galaxy nucleus NGC 4151, which were obtained in Astrophysical Institute during 39 years.

Methods: Absolute fluxes of H α and H β were obtained using standard stars with the known energy distribution. All calculations were carried out under the author's programs in C- language.

Applications: Spectral and photometric studies of AGN.

Results and conclusions: During 1984–1989 a five years minimum was observed. The spectra received at that time have shown, that the broad components of the permitted lines has disappeared almost completely, and these lines became narrow, as well as forbidden lines. In other words, during that period NGC 4151 had to be classified as Sy 2 due to the form of its spectrum.

Keywords: seyfert galaxy, spectral and fotometric variability.