

УДК: 524.3-56

## РАДИОИСТОЧНИК Z0254+43: $z = 4.067$

В.Р.АМИРХАНИЯН<sup>1</sup>, В.П.МИХАЙЛОВ<sup>2</sup>

Поступила 22 сентября 2005

Принята к печати 17 февраля 2006

В январе 2005г. на БТА САО РАН проведены спектральные наблюдения радиоисточника Z0254+43 и определено его красное смещение  $z = 4.067$ . Рассчитаны звездные величины в *BVR*-фильтрах: 22.68, 21.19, 19.94 и 19.23, соответственно. Фотометрические наблюдения в декабре 2005г. на Цейсс-1000 САО РАН не показали значимого изменения оптического излучения объекта по прошествии года. О переменности на часовой шкале пока мы можем говорить с большой осторожностью. Переменность потока Z0254+43 наблюдалась на РАТАН-600 в широком диапазоне частот с 1990 по 2005гг. Оказалось, что амплитуда переменности минимальна на частоте  $\sim 8$  ГГц. Построена модель переменности, из которой сделана оценка ориентации джета Z0254+43 к лучу зрения наблюдателя  $\sim 28^\circ$ . Светимость Z0254+43 в оптическом диапазоне  $\sim 2 \cdot 10^{26}$  Вт/Гц, в радио  $\sim 2 \cdot 10^{27}$  Вт/Гц

1. *Введение.* С 2001г. весьма успешно ЛСФВО САО РАН и лаборатория "РАТАН-600" ГАИШ ведут работу по оптическому отождествлению и определению красного смещения радиоисточников Зеленчукского обзора ГАИШ [1-2].

Продолжая эти наблюдения, 12/13 января 2005г. на БТА с редуктором SCORPIO [3] авторы получили оптический спектр радиоисточника Z0254+43. Объект был впервые обнаружен в октябре-ноябре 1990г. в зенитной (неопубликованной) области Зеленчукского обзора ГАИШ. Обзор проведен одновременно на частотах 3.9 ГГц и 7.5 ГГц в зените РАТАН-600, прямое восхождение 0-24 часа, диапазон склонений  $43^\circ 38' - 44^\circ 02'$  [2]. На эпоху обнаружения в этих диапазонах объект имел следующие потоки

$$S_{3.9} = 108 \pm 7.5 \text{ мЯн} \quad S_{7.5} = 148 \pm 12.5 \text{ мЯн}$$

Координаты объекта:  $\alpha_{2000} = 02^{\text{h}}57^{\text{m}}59^{\text{s}}.1$ ,  $\delta_{2000} = 43^\circ 38' 37''$ .

Его позиция на небесной сфере отмечена на рис.1, полученном на Цейсс-1000 САО РАН в фильтре *V* за 240 с экспозиции.

2. *Оптические наблюдения.* Спектральные наблюдения проведены в двух диапазонах:  $4000 \text{ \AA} - 7500 \text{ \AA}$  (гризма VPHG550G) и  $6000 \text{ \AA} - 9000 \text{ \AA}$  (гризма VPHG550R). Спектральное разрешение  $\sim 15 \text{ \AA}$ . В каждом диапазоне сделано четыре 600 секундных экспозиции. Для калибровки "голубого" спектра наблюдался стандарт AGK81D266, для "красного" спектра - G191B2B. Обработка спектральных данных выполнена пакетом

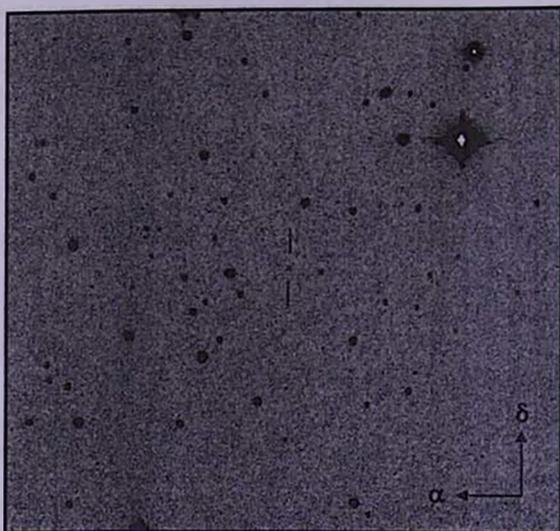


Рис.1. Изображение поля Z0254+43 размером 3.2' x 3.2'. Получено на Цейсс-1000 в V-фильтре.

программ, написанным В.Р.Амирханяном при активных консультациях В.Л.Афанасьева и С.Н.Додонова. Полученный спектр объекта приведен на рис.2. Спектр демонстрирует стандартные широкие линии далеких квазаров: мощная Ly $\alpha$ , SiIV+OIII, CIV. Узкая полузапрещенная OIII, по-видимому, связана с внешними областями объекта. Линия FeII 1636 вызывает сомнения. Сквозь "лес" линий поглощения пробивается Ly $\beta$ .

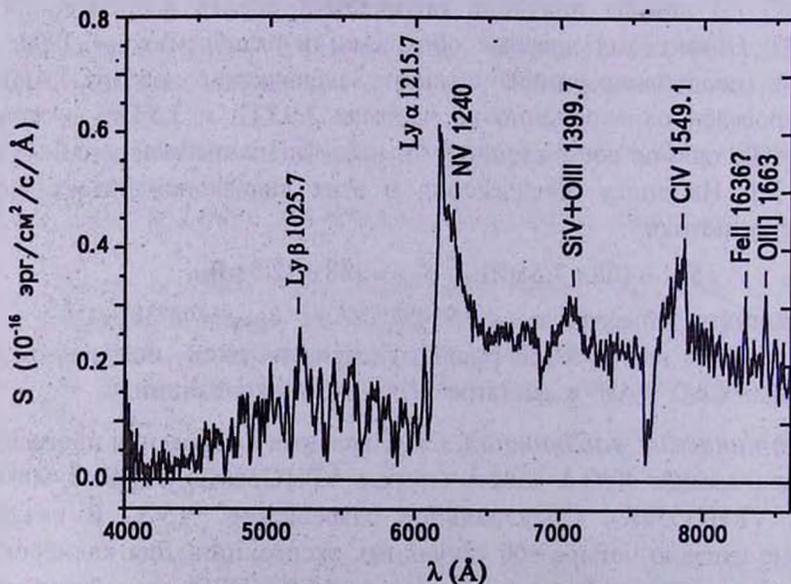


Рис.2. Оптический спектр Z0254+43.

Рассчитанное по этим линиям красное смещение объекта равно 4.067. Наблюдаемая эффективная ширина  $L_{\lambda} \sim 120\text{\AA}$ .

Умножив известные спектральные характеристики *BVRI*-фильтров системы Джонсона-Каузинса на полученный спектр и вычислив соответствующие им звездные величины объекта, получим:  $m_B = 22.68$ ,  $m_V = 21.19$ ,  $m_R = 19.94$ ,  $m_I = 19.23$ . Цветовой индекс  $B - R = 2.74$  соответствует "паломарскому"  $O - E \sim 3$  для объектов с  $z > 4$  [4-5].

Изучение данных первого (POSS-1) и второго (POSS-2) Паломарских обзоров позволило предположить переменность блеска этого объекта.

Каталог USNO-1B [6] на эпоху 1957 (POSS-1) дает  $m_R = 19.22$ , на эпоху 1989.8 (POSS-2)  $m_R = 19.67$ . Первый Паломарский обзор не

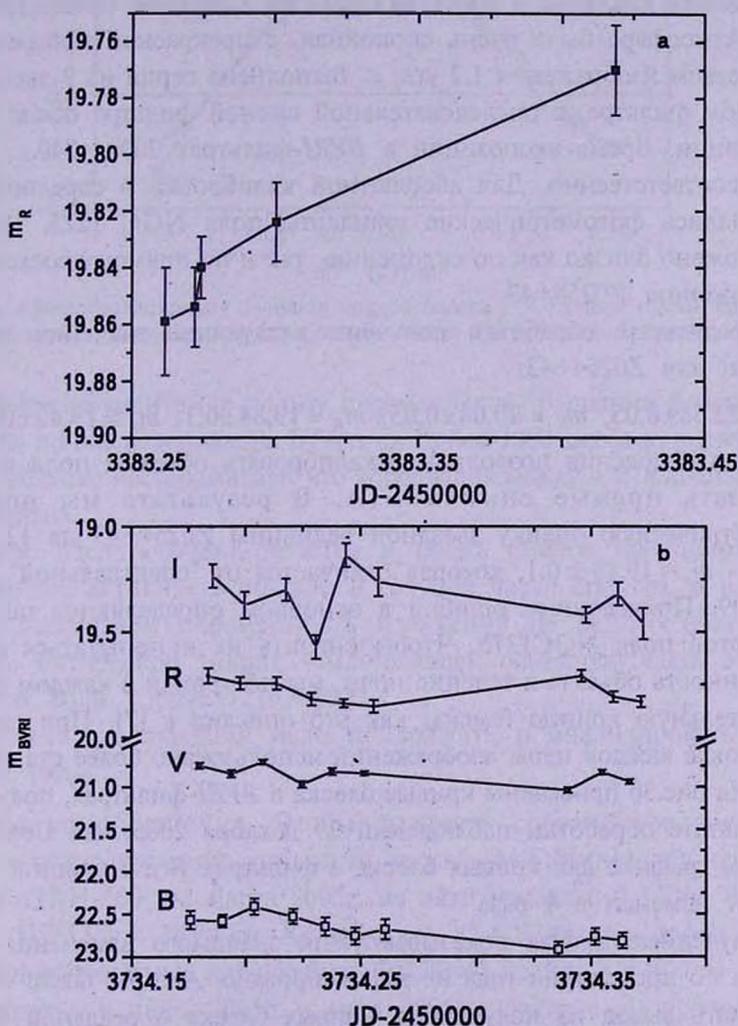


Рис.3. Кривые блеска: а) получена на БТА в *R*-фильтре, б) получены на Цейсс-1000 в *BVRI*-фильтрах.

зафиксировал этот объект в фильтре *B*. А на "голубой" карте второго Паломарского обзора объект уверенно наблюдается и USNO-1B дает величину 20<sup>m</sup>.04 на эпоху 1993.7. И хотя ошибки в USNO довольно большие, а *B*-величина в POSS-2 по-видимому завышена, нами сделана попытка оценить возможную переменность.

Во-первых, мы обработали пять прямых изображений в *R*-фильтре, полученных на БТА в процессе спектральных наблюдений. Оказалось, что за четыре часа блеск Z0254+43 возрос на 0<sup>m</sup>.1 (рис.3а).

Мы оценили изменение блеска объекта за год, прошедший с момента получения его спектра, а также на временах в десятки минут.

В ночь 29/30 декабря 2005г. нами проведены фотометрические наблюдения Z0254+43 в *BVRI*-фильтрах на телескопе Цейсс-1000 САО РАН. Атмосфера была очень спокойная, с прекрасной прозрачностью и качеством изображения 1.2 угл. с. Выполнена серия из 9 экспозиций в каждом фильтре, с последовательной сменой фильтра после каждой экспозиции. Время экспозиции в *BVRI*-фильтрах 300 с, 240 с, 180 с и 180 с, соответственно. Для абсолютной калибровки в середине серии наблюдались фотометрические стандарты поля NGC 1275. Это поле расположено близко как по склонению, так и по прямому восхождению к положению Z0254+43.

В результате обработки получены следующие значения звездных величин для Z0254+43:

$$m_B = 22.58 \pm 0.05, m_V = 20.04 \pm 0.05, m_R = 19.84 \pm 0.1, m_I = 19.42 \pm 0.08.$$

Эти наблюдения позволили откалибровать объекты поля и к ним привязать прямые снимки БТА. В результате мы получили фотометрическую оценку звездной величины Z0254+43 на 12 января 2005г. -  $m_R = 19.83 \pm 0.1$ , которая отличается от "спектральной" оценки на 0<sup>m</sup>.09. Приведенные ошибки в основном определяются ошибками стандартов поля NGC1275. Чтобы снизить их и попытаться оценить переменность объекта в течение ночи, мы построили в каждом фильтре относительную кривую блеска, как это описано в [7]. При взаимной калибровке каждой пары изображений использовано более ста объектов поля. На рис.3б приведены кривые блеска в *BVRI*-фильтрах, полученные в результате обработки наблюдений 29 декабря 2005г. на Цейсс-1000. На этом графике для кривых блеска в фильтрах *R* и *I* масштаб по оси ординат изменен в 4 раза.

Полученные цифры показывают, что значимого изменения блеска объекта по прошествии года не зафиксировано. Авторы также считают, что делать вывод из полученных кривых блеска о реальной быстрой переменности объекта можно с большой осторожностью. Надежду дает

кросс-корреляционная функция между кривыми блеска в  $V$  и  $B$ -фильтрах, достигающая в максимуме 0.85 (рис.4.). Ширина ее соответствует переменности на временах  $\sim 2$  часов. На этом же рисунке для сравнения приведена автокорреляционная функция в  $V$ -фильтре. Так как наблюдения в двух фильтрах - процессы независимые, то связь между кривыми блеска

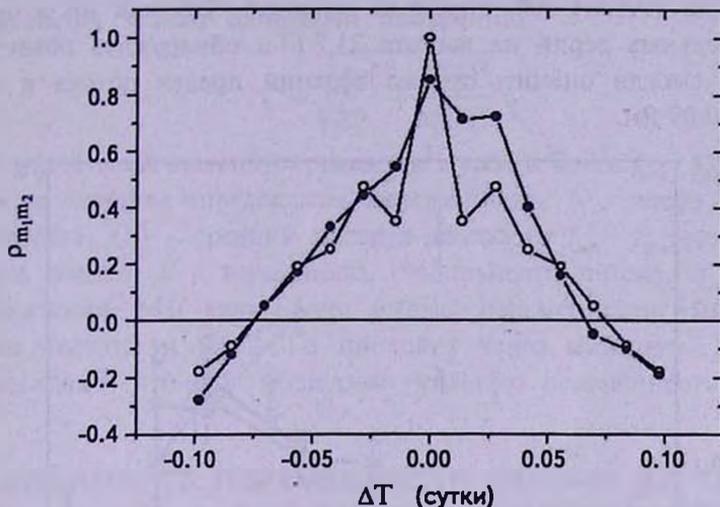


Рис.4. Автокорреляционная функция кривой блеска в  $V$ -фильтре (белые кружки) и кросс-корреляционная функция между кривыми блеска  $V$  и  $B$  диапазонов (черные кружки).

может быть аргументом в пользу переменности. Вариации блеска в  $R$ -диапазоне по наблюдениям на БТА и на Цейсс-1000 значительно превосходят ошибки. Однакостораживает, что корреляция между  $V$  и  $R$  диапазонами неубедительна.

Можно сделать очень простое и очень смелое предположение, объясняющее активность объекта в голубой части спектра, а именно, что мы наблюдаем переменность излучения не самого объекта, а вариации оптической толщи, поглощающей основную часть энергии на длинах волн короче  $1216 \text{ \AA}$ .

Очевидно, наблюдения надо продолжать и анализировать более длинные ряды.

**3. Радионаблюдения.** Чтобы выяснить современное состояние объекта в радиодиапазоне, по нашей просьбе М.Г.Мингалиев наблюдал его на РАТАН-600 2-3 марта 2005г. на пяти частотах: 2.3 ГГц, 4.8 ГГц, 7.7 ГГц, 11.2 ГГц и 21.7 ГГц. Кроме того, Ю.А.Ковалев в своем архиве нашел многочастотные наблюдения Z0254+43 на РАТАН-600 за ноябрь 2001г., апрель и июнь 2003г. и март 2005г., которые он проводил по программе мониторинга радиоспектров активных объектов. Всю наблюдательную информацию М.Г.Мингалиев и Ю.А.Ковалев любезно

передали нам. Информация была обработана авторской программой Амирханяна. Эти результаты весьма важны, так как позволяют построить мгновенные спектры объекта за несколько эпох в широком диапазоне частот. Найденные в литературе данные по этому радиоисточнику [8-12] и мгновенные спектры (соединены линиями), полученные на РАТАН-600, показаны на рис.5. Так как ни в одной из наблюдательных серий на частоте 21.7 ГГц обнаружить объект не удалось, мы смогли оценить только верхний предел потока в этом диапазоне  $\sim 0.09$  Ян.

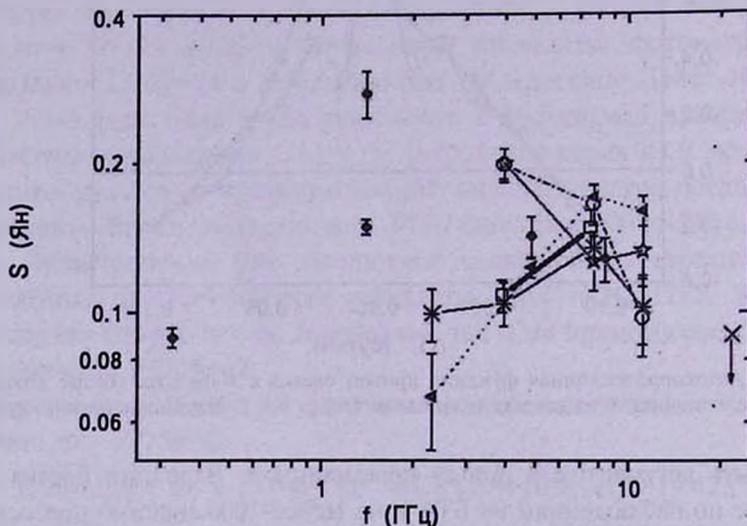


Рис.5. Радиоспектр Z254+43 за 1990-2005гг. Обозначения: "○" ГАИШ, октябрь 1990г., "★" Ковалев, ноябрь 2001г., "□" Ковалев, апрель 2003г., "■" Ковалев, июнь 2003г., "▲" Мингалиев+Ковалев, март 2005г., "●" из литературы, "×" верхнее ограничение на 21.8 ГГц.

4. *Модель переменности радиоисточника.* Воспользуемся наблюдениями Z254+43 с 1990г. по 2005г. и оценим переменность его потока как функцию частоты. Для этого разобьем диапазон наблюдаемых частот на четыре интервала и рассчитаем традиционный индекс переменности

$$V = \frac{S_{max} - S_{min}}{S_{max} + S_{min}},$$

который, правда, не учитывает ошибку измерений. В каждом интервале используем критерий  $\chi^2$  и рассчитаем вероятность  $P$ , что поток объекта постоянен и равен его средневзвешенному по всем измерениям значению, а

$$\langle S \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n S_i / \sigma_i^2}{\sum_{i=1}^n 1 / \sigma_i^2},$$

где  $S_i$  - измеренный поток,  $\sigma_i$  - ошибка измерений, его разброс определяется только ошибками измерений.

$$\chi^2 = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(S_i - \langle S \rangle)^2}{\sigma_i^2}}.$$

Результаты вычислений приведены в табл.1. Здесь  $f_{min} - f_{max}$  - диапазон частот, в котором определялась переменность,  $N$  - число наблюдений в интервале,  $\langle S \rangle$  - средний поток в диапазоне  $f_{min} - f_{max}$ ,  $\langle \sigma \rangle$  - средняя ошибка потока,  $P$  - вероятность стабильности потока,  $V_{зачн}$  - индекс переменности. Мы видим, что индекс переменности уменьшается с ростом частоты и на 8 ГГц проходит через минимум. Значения  $P$  подтверждают, что мы наблюдаем реальную переменность потока.

Таблица 1

## ЗАВИСИМОСТЬ ПЕРЕМЕННОСТИ Z0254+43 ОТ ЧАСТОТЫ

$f_{min} - f_{max}$	$N$	$\langle S \rangle$	$\langle \sigma \rangle$	$\chi^2$	$P$	$V_{зачн}$
1.4-2.3 ГГц	4	0.137 Ян	0.005 Ян	58.2	1.44 E-12	0.6
3.9-4.8 ГГц	6	0.129 Ян	0.009 Ян	61.7	5.4 E-12	0.3
7.5-8.4 ГГц	6	0.147 Ян	0.005 Ян	11.7	0.039	0.148
11.2 ГГц	4	0.13 Ян	0.007 Ян	14.6	0.002	0.24

Как показывает практика, у большинства объектов индекс переменности растет с увеличением частоты. Например, в работе [13] показано увеличение среднего, по 379 квазарам, индекса переменности от 0.14 до 0.24 с изменением частоты от 2.3 ГГц до 22 ГГц. Но в этой же работе приведены и мгновенные спектры объектов, полученные в период 1997-2001гг., из которых видно, что радиоисточники 0007+10, 0906+01, 2121+05 имеют обратный ход зависимости переменность-частота. А радиоисточник 1741-03 демонстрирует минимум переменности на частоте ~ 6 ГГц.

Такое поведение индекса переменности получает естественное объяснение в модели [14], которая рассматривает эволюцию спектра излучения облака релятивистских электронов, движущегося под углом  $\theta$  к лучу зрения наблюдателя в радиальном магнитном поле.

Мы построили версию этой модели, в которой центральная машина выбрасывает непрерывную серию облаков, случайные моменты рождения которых с равной вероятностью распределены по оси времени.

Наблюдатель регистрирует излучение ансамбля облаков, находящихся на разной стадии развития, среднее число которых можно регулировать. Чтобы учесть пространственную анизотропию излучения радиоисточника, светимость ансамбля облаков умножается на диаграмму излучения джета и суммируется со сферически-симметричным излучением нормальной компоненты. Параметры диаграммы направленности взяты из работы [15].

Так как рождение облаков и их выход из поля зрения наблюдателя есть случайный процесс, то наблюдаемое число облаков может значительно колебаться относительно средней величины. Порождаемая этим процессом переменность потока также есть случайный процесс. Многократные модельные вычисления показали, что если число наблюдаемых облаков задано в диапазоне 0.1-40, то спектр мощности кривой блеска имеет степенную зависимость с показателем  $\sim -1$ , как у фликкер-шума. Такой тип спектра переменности характерен для многих внегалактических радиоисточников [16].

На рис.6 показана одна из реализаций эволюции спектров, генерируемых моделью для угла  $\theta = 28^\circ$ , энергетическом спектре электронов  $\sim E^{-2.5}$  и числе одновременно наблюдаемых облаков  $\sim 0.4$  (потоки и частоты приведены в условных единицах). Соответствующий численному эксперименту индекс переменности на этом же рисунке отмечен пунктиром. Вычисления показали, что значения и позиция экстремумов индекса в основном зависят от угла ориентации и в гораздо меньшей степени от плотности облаков. С увеличением угла

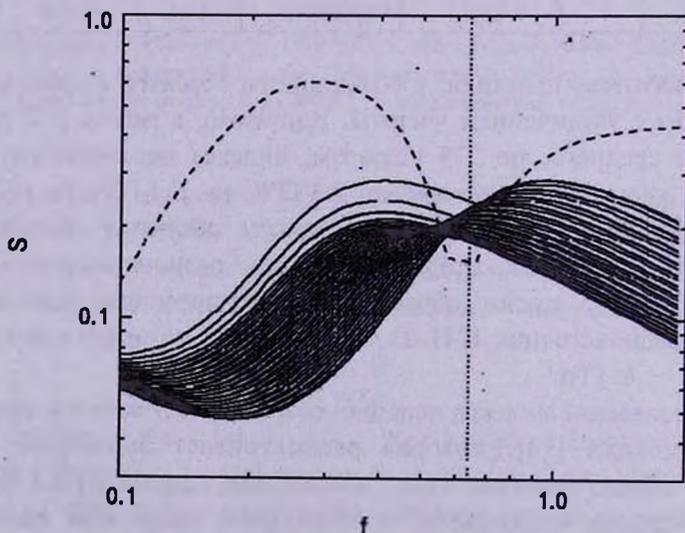


Рис.6. Эволюция спектра излучения ансамбля облаков релятивистских электронов. Пунктирная линия - зависимость индекса переменности от частоты. Точечная вертикальная линия - положение минимума индекса переменности.

ориентации экстремумы смещаются к высоким частотам, а индекс переменности как в максимуме, так и в минимуме уменьшается.

Естественно попытаться использовать эту зависимость для оценки ориентации джета радиисточника относительно луча зрения наблюдателя.

Чтобы получить модельную зависимость значений индекса переменности в минимуме  $V_{min}$  и в максимуме  $V_{max}$  от ориентации, для каждого значения угла  $\theta$  проводилось десять численных экспериментов и определялись средние значения  $V_{min}$ ,  $V_{max}$ , а также  $\langle S_{min} \rangle / \langle S_{max} \rangle$  - отношение средних потоков на частотах минимума и максимума (рис.7). На этом же рисунке пунктирными линиями отмечены минимальное (0.15), максимальное (0.6) значения индекса переменности Z0254+43, взятые из табл.1 и отношение потоков (1.07). В результате получаем три близкие оценки угла ориентации для этого объекта: 30, 28 и 26 градусов. Конечно, можно использовать зависимость  $V_{min}/V_{max}$  от  $\theta$ . Но столь благоприятная ситуация, когда в диапазон наблюдений попадают оба экстремума, складывается далеко не всегда и в основном для объектов с большим красным смещением. Чаще мы будем фиксировать только максимум индекса, который определяется, к сожалению, менее четко, чем минимум. Если угол ориентации  $\theta < 5^\circ$ , то экстремумы выражены очень слабо и индекс монотонно растет с увеличением частоты. Если  $\theta > 70^\circ$ , то экстремумы "убегают" вверх по частоте, а переменность столь мала, что измерить ее параметры из-за ошибок измерения становится сложно.

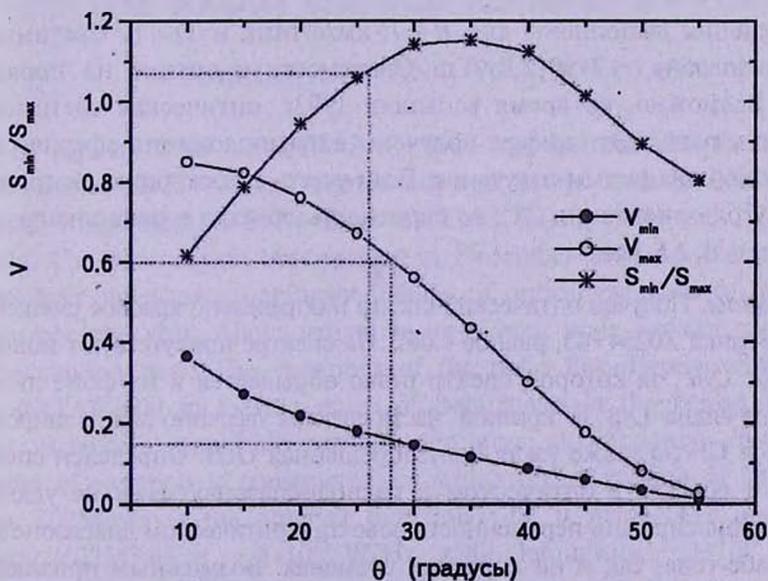


Рис.7. Зависимость минимального и максимального значения индекса переменности, а также отношения средних потоков на частотах минимума и максимума от ориентации радиисточника к лучу зрения наблюдателя.

На рис.8 показан спектр светимости объекта (оптический и радиодиапазоны). Светимость рассчитана по стандартным формулам

$$L_{f(1+z)} = 4\pi \left( \frac{c}{H} \right)^2 l_b^2 S_f (1+z)^{-1},$$

где  $S_f$  - поток на частоте наблюдения  $f$ ,  $L_{\lambda(1+z)}$  - светимость в сопутствующих координатах на частоте  $f(1+z)$ ,  $l_b = 2 \frac{\Omega z + (\Omega - 2)(\sqrt{1 + \Omega z} - 1)}{\Omega^2}$  - болометрическое расстояние.

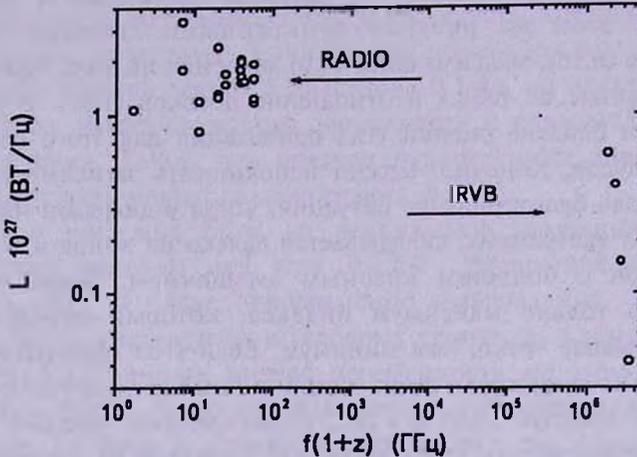


Рис.8. Спектр светимости объекта на  $z = 4.067$ .

Вычисления выполнены для  $H = 75$  км/с/Мпк и  $\Omega = 1$ . Светимость в радиодиапазоне  $\sim 2 \cdot 10^{27}$  Вт/Гц. Светимость в оптике на порядок меньше. Возможно, во время вспышки 1993г. оптическая светимость сравнялась с радио. Эти цифры получены в предположении сферически-симметричной диаграммы излучения. Если учесть анизотропию диаграммы [15] и ее угол ориентации  $28^\circ$ , то светимость объекта в радиодиапазоне уменьшится в 2.5 раза.

5. **Выводы.** Получен оптический спектр и определено красное смещение радиоисточника Z0254+43, равное 4.067. На спектре присутствуют мощная и широкая  $Ly\alpha$ , за которой спектр резко обрывается и на фоне линий поглощения видна  $Ly\beta$ . В "красной" части спектра уверенно видны широкие SiIV+OIII и CIV, а также узкая полузапрещенная OIII. Определен спектр светимости объекта в оптическом и радиодиапазонах. Нам не удалось уверенно зафиксировать переменность объекта в оптическом диапазоне как на масштабе года, так и на коротких временах. Возможным признаком оптической переменности остается "голубая" карта POSS-II, на которой в USNO величина Z0254+43 оценивается в  $20^m.04$ , что на  $2^m.6$  превышает

наши цифры. В красном фильтре разница между нашими измерениями и Паломарскими обзорами существенно меньше и ее можно отнести как к переменности Z0254+43, так и к ошибкам USNO-1B.

Переменность объекта в радиодиапазоне сомнений не вызывает. Здесь мы столкнулись с редким случаем, когда амплитуда переменности в наблюдаемом диапазоне частот проходит через минимум. Нам удалось согласовать наблюдения с моделью радиоисточника, в которой центральное ядро постоянно впрыскивает в дипольное магнитное поле компактные облака релятивистских электронов и, по экспериментальным значениям минимума и максимума индекса переменности, оценить угол ориентации джета к лучу зрения наблюдателя  $\sim 26\text{--}30^\circ$ .

Авторы благодарят В.Л.Афанасьева и С.Н.Додонова за большую помощь при написании программ обработки спектральных наблюдений, а также приносят благодарность М.Г.Мингалиеву и Ю.А.Ковалеву за наблюдения этого объекта на РАТАН-600 и передачу нам всей оригинальной наблюдательной информации.

<sup>1</sup> Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга, Россия, e-mail: amir@sao.ru

<sup>2</sup> Специальная астрофизическая обсерватория, Россия

## THE RADIO SOURCE Z0254+43: $z = 4.067$

V.R.AMIRKHANYAN<sup>1</sup>, V.P.MIKHAILOV<sup>2</sup>

In January 2005 on BTA SAO RAS the spectral observations of the radio source Z0254+43 are carried out and its red shift  $z = 4.067$  is determined. Magnitudes in *BVR*I-filters are 22.68, 21.19, 19.94 and 19.23 respectively. The photometric observations in December 2005 on Zeiss-1000 SAO RAS have not shown significant change of optical radiation of object on a scale per one year. About variations on a hour scale we can speak with a large caution now. The variations of the radio flux density were observed on RATAN-600 in a wide range of frequencies in the period 1990-2005. The variation's amplitude reaches minimum at frequency  $\sim 8$  GHz. The model of variation is constructed, of which the estimation of jet's orientation Z0254+43 to the observer direction  $\sim 28^\circ$  is made. The optical luminosity Z0254+43 is  $\sim 2 \cdot 10^{26}$  W/Hz, radio luminosity  $\sim 2 \cdot 10^{27}$  W/Hz.

Key words: *Radio sources: spectrum: redshift - individual: Z0254+43*

## ЛИТЕРАТУРА

1. В.Л.Афанасьев, С.Н.Додонов, А.В.Моисеев и др., Письма в Астрон. ж., 29, 656, 2003.
2. В.Р.Амирханян, В.Л.Афанасьев, С.Н.Додонов, А.В.Моисеев, В.П.Михайлов, Письма в Астрон. ж., 30, 915, 2004.
3. В.Л.Афанасьев, А.В.Моисеев, Письма в Астрон. ж., 31, 214, 2005.
4. A.G.Snellen, R.G.McMahon, J.Dennett-Thorpe et al., Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 325, 1167, 2001.
5. C.R.Benn, M.Vigotti, M.Pedani et al., Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 329, 221, 2002.
6. D.G.Monet, S.E.Levine, B.Canzian et al., Astron. J., 125, 984, 2003.
7. В.Р.Амирханян, Астрон. ж., 83, 1, 2006.
8. R.L.White, R.H.Becker, Astrophys. J., 79, 331, 1992.
9. P.C.Gregory, W.K.Scott, K.Douglas, J.J.Condon, Astrophys. J. Suppl. Ser., 103, 427, 1996.
10. J.J.Condon, W.D.Cotton, E.W.Greisen et al., Astron. J., 115, 1693, 1998.
11. J.M.Wrobel, A.R.Patnaik, I.W.A.Browne, P.N.Wilkinson, Bull. Am. Astron. Soc., 30, 1308, 1998.
12. R.B.Rengelink, Y.Tang, A.G. de Bruyn et al., Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 124, 259, 1997.
13. Y.Y.Kovalev, Y.A.Kovalev, N.A.Nizhelsky, A.B.Bogdantsov, PASA, 19, 83, 2002.
14. Ю.А.Ковалева, В.П.Михайлуца, Астрон. ж., 24, 400, 1980.
15. В.Р.Амирханян, Астрон. ж., 70, 16, 1993.
16. В.Ю.Теребиж, Анализ временных рядов в астрофизике, Наука, М., 1992.