

RADIOASTRONOMY

ПЕРЕМЕННОСТЬ КВАЗАРА 3C273 ОТ РАДИО ДО ГАММА-ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН ЗА ПЕРИОД 1963 – 2011 ГГ

Вольвач А.Е.¹, Кутькин А.М.², Вольвач Л.Н.¹, Ларионов М.Г.²

¹ Лаборатория радиоастрономии НИИ «Крымская астрофизическая обсерватория»,
Кацивели, Ялта, Украина (volvach@ukrpost.ua)

² Астрокосмический центр Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия

ABSTRACT. The results of long term monitoring programs of quasar 3C 273 are collected and analyzed over 1963 – 2011 in wavebands from radio to gamma. Using cross-correlation analysis we found time delays between the variations in radio lightcurves. The time delay-to-frequency dependence was approximated by power-law function and the core shift value in the source was calculated. We also estimated the magnetic field strength in the core at 1 pc: $B_1=0.5\pm 0.1$ G.

Введение

Кварзар 3C 273 является одним из наиболее изученных внегалактических объектов. Масса центральной сверхмассивной черной дыры в 3C 273 оценивается на уровне $M_{\text{ВН}} \cong 7 \cdot 10^9 M_{\text{Солнца}}$ [1]. Данный источник демонстрирует ярко выраженную переменность плотности потока излучения и находится под пристальным вниманием исследователей.

Обнаружение гармонических составляющих в кривых блеска являлось и является одной из основных задач программ долговременного мониторинга. В первую очередь это относится к оптическому диапазону, в котором уже в 1965 г. было отмечено наличие 13-летнего периода в 3C 273 [2]. Позднее обнаруживали и другие периодические составляющие изменений плотности потока, сравнимые с этим периодом [3,4]. Используя длинные ряды наблюдений в В-полосе (с 1887 по 1991 гг.), Бабаджанянц и Белоконь выделили

период в 13,4 года из анализа этих данных и сравнения с миллисекундной структурой радиоджета [5]. Фан, Ромеро и Лин [6] также отмечали наличие периода 13,65 года в оптическом диапазоне, что в пределах ошибок согласуется с данными работы [5]. Кроме того, они указывали на наличие еще и 2х летнего периода [6]. Манчанда сообщил об обнаружении 13,5 летнего периода в рентгеновском диапазоне (50 кэВ), что послужило толчком к активному обсуждению механизмов энерговыделения, действующих в АЯГ [7].

Важным аспектом в понимании физики явлений, происходящих в АЯГ, является исследование относительных временных задержек многочастотных кривых блеска. Для 3C273 была определена задержка около 0,25 года между частотами 22 и 37 ГГц [8]. Близкое значение задержки между 22 и 37 ГГц было получено нами ранее для источника 3C 454.3 [9] и, как будет показано ниже, для 3C 273. В работе [8] для некоторых источников с хорошими наблюдательными данными авторам удалось определить задержки отдельных вспышек между различными частотами наблюдений. Было отмечено, что различные вспышки в одном и том же источнике имели различные задержки. С другой стороны в работе [9] показано, что три последние вспышки в 3C 454.3 демонстрировали одинаковые задержки.

Радиоядром принято называть наиболее компактную часть у основания релятивистского выброса. В стандартной модели неоднородного выброса Блэнд-

форда-Кёнигла [10] это поверхность с оптической толщиной $\tau \approx 1$ (фотосфера), которая находится на определенном расстоянии от истоков выброса. Положение ядра зависит от частоты (эффект смещения ядра), и характер этой зависимости определяется механизмами поглощения. Если преобладает синхротронное самопоглощение, то смещение ядра можно представить $r_c \propto (v_{\text{obs}})^{-1/k}$, где показатель k зависит от распределения плотности энергии частиц и магнитного поля [11]. Изучение данного эффекта представляет большой интерес для современной астрономии. По измерениям величины эффекта можно оценить ряд характеристик самого выброса (напряженность магнитного поля в ядре, расстояние начала струи от центральной машины и т.д. [12]), а кроме того, смещение ядра тесно связано с астрометрическими задачами, где наблюдения АЯГ на разных частотах используются для формирования каталогов реперных источников.

В данной работе представлены результаты кооперационных широкополосных наблюдений 3С273 за длительный период с 1963 года по 2011 год [13].

Наблюдения

На частотах 22.2 и 36.8 ГГц наблюдательные данные были получены с помощью: 22-метрового радиотелескопа (РТ-22) Крымской астрофизической обсерватории, 26-м радиотелескопа (РТ-26) радиоастрономической обсерватории Мичиганского университета, с помощью 14-м радиотелескопа (РТ-14) радиоастрономической обсерватории Метсахови Аалто университета. Мы также использовали данные наблюдений на частотах 90, 230 и 362 ГГц, в рентгеновском и оптическом диапазонах длин волн, и данные с телескопа LAT космической обсерватории FERMI [14, 15, 16, 17].

Анализ результатов

Ранее в работе [9] нами была определена частотная зависимость задержек блазара 3С 454.3, которая была аппроксимирована логарифмическим законом вида $\Delta T \sim (\text{Log } \nu)^{-1}$. В случае 3С 273 полученные значения задержек также хорошо описываются логарифмическим законом, однако, степенная модель, по видимому, более физична [11,12], и далее мы будем рассматривать именно ее. Очевидно, что если мы наблюдаем реальное релятивистское движение вещества в выбросе, то смещение ядра $\Delta r(\nu)$ пропорционально временной задержке $\Delta T(\nu)$.

Для проведения кросскорреляционного анализа мы проводили линейную интерполяцию кривых блеска. Ошибки определения временных задержек учитывались с помощью метода Монте Карло, объединенного с бутстраппингом (англ. bootstrapping). График зависимости задержек от частоты относительно 375 ГГц приведен на рисунке 1. Сплошная линия представляет наилучшую аппроксимацию уравнением $\Delta T = C \cdot \nu^{-1/k}$. В результате мы определили показатель $k=1.4 \pm 0.1$.

Следуя [12], положим распределение магнитного поля и плотности частиц вдоль выброса $B = B_1 \cdot (r_1/r)^m$ и $N = N_1 \cdot (r_1/r)^n$, где B_1 и N_1 – напряженность поля и концентрация электронов на расстоянии $r_1=1$ пк от осно-

вания струи. В этом случае величины k , m , n и показатель спектра α связаны соотношением $k = ((3-2\alpha)m + 2n - 2) / (5 - 2\alpha)$ [12]. В случае равномерного распределения поля и частиц $m=1$, $n=2$ и $k=1$.

Можно ввести величину Ω , которая будет характеризовать меру смещения ядра для двух частот ν_1 и ν_2 [12]:

$$\Omega = 4.85 \cdot 10^{-9} \frac{\Delta r_{\text{mas}} D_L}{(1-z)^2} \left(\frac{\nu_1^{1/k} \nu_2^{1/k}}{\nu_2^{1/k} - \nu_1^{1/k}} \right) \quad (1),$$

где $D_L=735$ Мпк – фотометрическое расстояние до источника. Проекционное расстояние Δr_{mas} можно выразить через временную задержку как $\Delta r_{\text{mas}} = \mu_{\text{app}} \Delta T$, где μ_{app} – видимая скорость компонентов РСДБ выброса в проекции на небесную плоскость в миллисекундах дуги в год. Мы взяли среднее значение $\mu_{\text{app}}=0.94$ мс/год из работы [18]. Полученные нами значения Ω для различных пар частот хорошо согласуются между собой и дают среднее значение $\langle \Omega \rangle = 13.9 \pm 1.4$ пк·ГГц.

Теперь можно выразить смещение ядра:

$$r_{\text{core}}(\nu) = \frac{\Omega}{\sin \theta} \nu^{-1/k} \quad (2),$$

а также оценить напряженность магнитного поля в выбросе на расстоянии 1 пк от истоков джета в предположении равномерного распределения энергии частиц и поля [19]:

$$B_1 \cong 0.025 \left(\frac{\Omega^3 (1-z)^2}{\delta^2 \varphi \sin^2 \theta} \right)^{1/4} \quad (3),$$

где θ – угол между выбросом и направлением на наблюдателя, φ – угол половинного раскрытия выброса, δ – Допплер-фактор, и далее получить оценку магнитного поля в ядре для заданной частоты:

$$B_{\text{core}}(\nu) = B_1 r_{\text{core}}^{-1}(\nu) \quad (4).$$

Для определения этих величин мы использовали средние значения $\theta=6.1^\circ$, $\varphi=1.4^\circ$ и $\delta=9.0$ из работы [20]. В результате мы получили оценку магнитного поля на расстоянии 1 пк от основания выброса: $B_1=0.5 \pm 0.1$ Гс и зависимость $r_{\text{core}}(\nu_{\text{ГГц}}) \approx 131 \cdot \nu^{-1/1.4}$ пк. Полученное значение напряженности магнитного поля согласуется с данными работы [21]. В работе [12] была предсказана величина смещения ядра 3С 273 между частотами 2 и 22 ГГц, она составляет $\Delta r=0.78$ миллисекунд дуги. Для принятого значения $\mu_{\text{app}}=0.94$ мс/год мы получили величину смещения между 4.8 и 22.2 ГГц $\Delta r=1.14$ мс.

Выводы

В результате кооперационных наблюдений в широком диапазоне длин волн были получены наблюдательные данные за длительный период около 50 лет. С помощью кросскорреляционного анализа получены величины задержек между кривыми блеска на разных частотах. Частотная зависимость задержек позволила определить величину эффекта смещения ядра в квазаре 3С 273 и получить оценки напряженности магнитного поля в ядре.

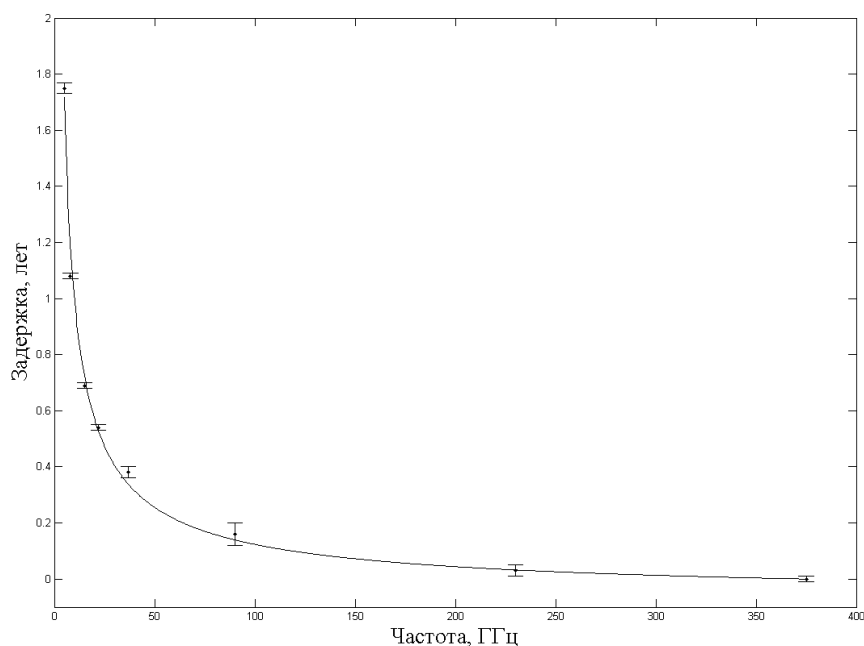


Рис. 1. Частотная зависимость задержек в радио и субмиллиметровом диапазонах (относительно частоты 362 ГГц). Сплошная линия – наилучшая аппроксимация уравнением $\Delta T = C \cdot \nu^{-1/k}$.

Литература

1. S. Paltani and M. Türler, *A&A*, 435, 811, (2005).
2. H.J. Shmith, & D. Hoffleit, *Nature* 1965, 198, 650, (1965).
3. I. Jurkevich, *Astrophys. J.*, 172, L29, (1972).
4. Z. Abraham, G.E. Romero, *A&A*, 344, 61, (1999).
5. М.К. Babadzhanants, Е.Т. Belokon', *Astron. Rep.*, 37(2), 127, (1993).
6. J.H. Fan, G.E. Romero, R.G. Lin, *AcASn*, 42, № 1, 9, (2001).
7. R.K. Manchanda, *J.Astrophys.Astr.*, 23, 243, (2002).
8. V.-G. Deng, J.-M. Bai, L. Zhang and X. Yang, *Chin.J.Astron.Astrophys.*, 8, 195, (2008).
9. А.Е. Вольвач и др., *Астрон.ж.* 88, 662, (2011).
10. R.D. Blandford & A. Königl, *ApJ*, 232, 34 (1979).
11. A. Königl, *ApJ*, 243, 700 (1981).
12. А.Р. Lobanov, *A&A*, 330, 79 (1998).
13. Вольвач А.Е. и др., *Астрон. журн. в печати*, (2011).
14. В.А.Ефанов, И.Г. Моисеев, Н.С. Нестеров, *Изв. КрАО*. 1979. 60, 3, (1979).
15. M. F. Aller, H. D.Aller, P. A. Hughes, *Bull. Amer. Astron. Soc.*, 33. 1516, (2001).
16. M. Turler et al., *A&AS*, 134, 89, (1999).
17. S. Soldi et al., *A&A*, 486, 411, (2008).
18. K.I. Kellermann, M.L. Lister and D.C. Homan, *ApJ*, 609, 539 (2004).
19. S.P. O'Sullivan & D.C. Gabuzda, *MNRAS*, 400, 26 (2009).
20. S.G. Jorstad et al., *AJ*, 130, 1418, (2005).
21. T. Savolainen et al., *ASP Conf. Series*, 386, 451 (2008).