

УДК 520.872:524.884:52-732

## ЛОКАЛИЗАЦИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В АКТИВНЫХ ЯДРАХ ГАЛАКТИК

Пушкарев А.Б.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>НИИ «Крымская астрофизическая Обсерватория», Научный, Украина

<sup>2</sup>Главная Астрономическая Обсерватория (Пулково), Санкт-Петербург, Россия

E-mail: [pushkarev@crao.crimea.ua](mailto:pushkarev@crao.crimea.ua)

По данным наземных радиоинтерферметрических наблюдений, выполненных на системе апертурного синтеза VLBA (Very Large Baseline Array), а также космических наблюдений гамма-обсерватории *Fermi* локализована область высокоэнергичного (0.1-100 ГэВ) гамма-излучения в активных ядрах галактик и ассоциирована с зоной ускорения частиц в релятивистских выбросах этих источников. Установлено, что данная область находится на расстоянии нескольких парсек от центральной черной дыры.

**Ключевые слова:** активные ядра галактик, квазары, гамма-излучение, интерферометрия.

### ВВЕДЕНИЕ

Активные ядра галактик (квазары, лацетиды, радио- и сейфертовские галактики) представляют собой один из интереснейших феноменов Вселенной благодаря целому ряду своих пекулярных свойств: колоссальное энерговыделение, нетепловой характер излучения, его высокая и в то же время быстрая переменность во всех участках электромагнитного спектра, от радио- до гамма-диапазона. Еще одним типичным признаком активных галактических ядер (АГЯ) является наличие биполярных потоков, состоящих, скорее всего, из электрон-позитронной плазмы, частицы которой могут ускоряться до ультрарелятивистских скоростей. Образование таких струй обусловлено аккрецией вещества на центральный объект – сверхмассивную (до  $\sim 10^9$  масс Солнца) черную дыру, и решает задачу отведения части момента вращения аккреционного диска, поддерживая таким образом высокую эффективность дисковой аккреции.

Формирование выбросов в АГЯ в направлениях оси вращения диска происходит в непосредственной близости от черной дыры, на расстояниях около 100 гравитационных радиусов. Ускорение частиц в выбросах может быть результатом прохождения фронтов ударных волн, как это обсуждается в газодинамических моделях [1]. Другой ряд моделей [2] предполагает, что ускорение частиц происходит посредством магнитного поля. Магнитное поле, а именно его тороидальная составляющая также играет исключительную роль в коллимации и удержании джетов, которые в радиодиапазоне могут проследиваться до расстояний в несколько мегапарсек<sup>1</sup>, т.е. превышать оптические размеры самих родительских галактик. На больших масштабах струи теряют значительную часть своей энергии как на взаимодействие с окружающей средой, так и на излучение, и в конце концов становятся диффузными и необнаружимыми.

---

<sup>1</sup> 1пк =  $3.08 \cdot 10^{18}$  см

Из-за слабой разрешающей способности первых гамма-инструментов долгое время не удавалось отождествить регистрируемое высокоэнергичное излучение с какими-либо космическими объектами. Лишь один квазар (3C273), находящийся на красном смещении  $z = 0.153$  (746 Мпк), был идентифицирован в 1978 г с источником гамма-излучения [3] по наблюдениям со спутника COS-B, выведенного на орбиту в 1975 г и являющегося совместным проектом Европейского космического агентства и НАСА. Ситуация начала меняться только в 1991 г после начала работы инструмента EGRET, установленного на борту космической гамма-обсерватории Compton. Пространственное разрешение EGRET по уровню доверия 68% составляло  $\sim 1.7^\circ$  для фотонов с энергиями  $\sim 1$  ГэВ [4], что позволило ассоциировать несколько десятков блазаров (квазаров и лацертид) с яркими гамма-источниками [5,6]. Однако, настоящий прорыв произошел позже и связан с успешным запуском 8 июня 2008 г космической гамма-обсерватории *GLAST* (*Gamma-ray Large Area Space Telescope*) впоследствии переименованной в *Fermi*, на борту которой установлен гамма-телескоп LAT (*Large Area Telescope*) со значительно улучшенными по сравнению с предыдущими инструментами характеристиками [7]: (i) более высоким угловым разрешением (с 68% радиусом ошибок  $\sim 0.6^\circ$  для фотонов с энергиями  $\sim 1$  ГэВ, а для фотонов на более высоких энергиях может быть меньше  $0.1^\circ$ ); (ii) широким полем зрения ( $\sim 2.4$  ср, что в 5 раз больше, чем у EGRET), что позволяет сканировать все небо каждые 3 часа; (iii) высокой чувствительностью, достигаемой благодаря большой эффективной площади  $\sim 8000$  см<sup>2</sup> (в 6 раз больше, чем у EGRET). Научные наблюдения начались с 5 августа 2008 г, т.е. спустя два месяца после запуска. По результатам первых 11 месяцев LAT-наблюдений был обнаружен 1451 гамма-источник [7] на уровне выше  $4\sigma$  в интервале энергий от 100 МэВ до 100 ГэВ. При этом, было установлено, что доминирующий вклад в гамма-излучение неба вносят именно активные ядра галактик, на долю которых приходится  $\sim 82\%$  отождествленных гамма-источников (671 из 821), имеющих галактическую широту  $|b| > 10^\circ$  [8].

Считается, что гамма-излучение в АГЯ формируется в коллимированных струях, состоящих из заряженных частиц, движущихся с релятивистскими скоростями [9]. Как ни парадоксально, но детальные исследования таких струй возможны лишь на противоположном конце электромагнитного спектра, в радиодиапазоне, где достигается рекордное угловое разрешение (доли миллисекунд дуги) в современной астрономии благодаря методу радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ), предложенному советскими учеными в 1965 г [10]. Синергия РСДБ и гамма-наблюдений позволили углубить наше понимание физики релятивистских джетов и установить целый ряд взаимосвязей между свойствами АГЯ в радио- и гамма-диапазонах: (i) фотонный гамма-поток и плотность радиоизлучения коррелируют на высоком уровне значимости [11]; (ii) гамма-яркие квазары и объекты типа VL Lacertae имеют более высокие яркостные температуры, видимые скорости движения компонентов струй [12], Допплер-факторы [13] и более широкие видимые углы раскрытия выбросов [14], чем гамма-слабые АГЯ. Также был обнаружен характерный интервал задержек радиоизлучения по отношению к гамма-

излучению, составивший 1-8 месяцев в системе наблюдателя и величину задержки  $\sim 1.2$  месяца в системе отсчета, связанной с источником [15].

Тем не менее, многие вопросы остаются открытыми: механизм(ы) ускорения частиц, механизм(ы) образования гамма-излучения и точная локализация области его генерации, а также причины переменности излучения. В рамках данной работы, используя метод Монте-Карло, исследуется вопрос, где именно в выбросах АГЯ происходит генерация излучения на сверхвысоких энергиях.

## 1. МОРФОЛОГИЯ СТРУЙ НА ПАРСЕКОВЫХ МАСШТАБАХ

Угловое разрешение наземных РСДБ-наблюдений составляет  $\sim \lambda/D$ , где  $\lambda$  – длина волны наблюдения,  $D$  – максимальная длина проекции базы интерферометра. Например, для  $\lambda \sim 4$  см и  $D \sim 8000$  км, угловое разрешение составит  $\sim 1$  мсек дуги. Тогда, для источника, находящегося на красном смещении  $z \sim 1$ , линейный масштаб, соответствующий угловому в 1 мсек составит  $\sim 8$  пк в проекции на небесную сферу для неоднородной Фридмановской модели Вселенной ( $\lambda$ -CDM космология) с параметрами  $\Omega_m = 0.27$ ,  $\Omega_\Lambda = 0.73$  и постоянной Хаббла  $H_0 = 71h$  км с<sup>-1</sup> Мпк<sup>-1</sup> [16].

Одной из наблюдаемых особенностей релятивистского движения в выбросах является эффект так называемого сверхсветового движения компонентов струй, т.е. с видимой проекционной скоростью, превышающей скорость света. Действительно, источник, движущийся со скоростью  $\beta c$  под углом  $\theta$  к лучу зрения, будет иметь видимую поперечную скорость

$$\beta_{\text{app}} = \frac{\beta \sin \theta}{1 - \beta \cos \theta}, \quad (1)$$

достигающую максимального значения  $\Gamma \beta c$  при  $\sin \theta = 1/\Gamma$ , где  $\Gamma = (1 - \beta^2)^{-0.5}$  – Лоренц-фактор. Тогда, комбинация  $\beta > 1/\sqrt{2}$  и малых  $\theta$  может приводить к  $V_{\text{app}} > c$ .

Релятивистский характер движения плазмы в струях АГЯ также определяет их морфологические особенности из-за эффекта Доплеровского усиления (Рис. 1), приводящего к видимой односторонности выбросов. Так, отношение наблюдаемого потока струи к его величине в системе источника составляет  $D^{2-\alpha}$ , где  $\alpha$  – спектральный индекс ( $S \sim \nu^\alpha$ ),  $D = [\Gamma(1 - \beta \cos \theta)]^{-1}$  – Доплер-фактор. Соответственно, отношение потоков приближающегося и удаляющегося выбросов в системе наблюдателя даже для умеренно-релятивистской скорости  $\beta = 0.97$  ( $\Gamma \approx 4$ ) составит  $[(1 + \beta \cos \theta)/(1 - \beta \cos \theta)]^{2-\alpha} > 10^5$  для  $\theta \sim 10^\circ$  и  $\alpha = -1$ , что далеко за пределами динамических диапазонов ( $\sim 10^3$ ) восстанавливаемых РСДБ-карт распределения яркости радиоисточников. Таким образом, наблюдаемый односторонний характер парсековой структуры АГЯ свидетельствует о сильном

селекционном эффекте, т.е. направленности струй источников под малым углом к лучу зрения.

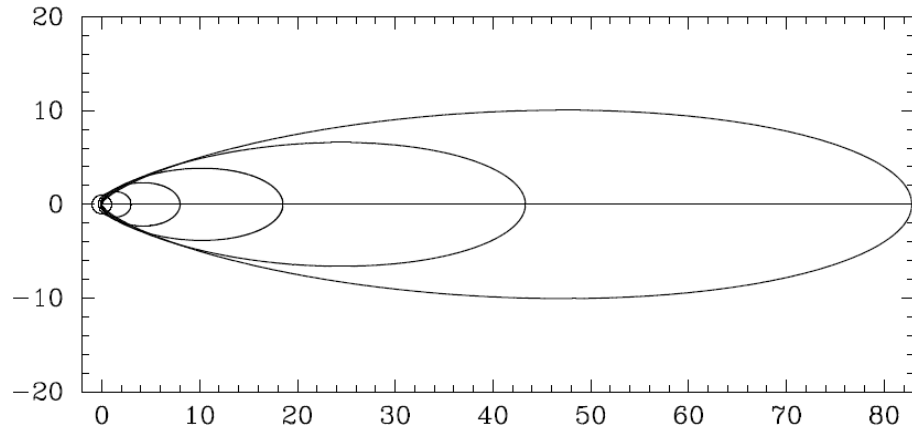


Рис. 1. Параметрическая зависимость усиления потока излучения для  $\beta = 0.9, 0.85, 0.75, 0.6, 0.35, 0$  и спектрального индекса струи  $\alpha = -1$ . С ростом скорости конус излучения становится все более узконаправленным, тогда как для случая неподвижного источника  $\beta = 0$  излучение изотропно.

## 2. ЗАДЕРЖКА РАДИО- ПО ОТНОШЕНИЮ К ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЮ В АКТИВНЫХ ЯДРАХ ГАЛАКТИК

Как показано в работе [15], типичная величина задержки радиоизлучения РСДБ-ядер на частоте 15 ГГц по отношению гамма-излучению составляет  $\Delta t^{\text{sour}} \sim 1.2$  мес в системе источника и  $\Delta t^{\text{obs}} \sim (1-8)$  мес в системе наблюдателя. Следует заметить, что под РСДБ-ядром понимают не физическое ядро (черную дыру), а ту область струи, где она становится оптически толстой ( $\tau_\nu \approx 1$ ) на данной частоте из-за эффектов поглощения синхротронного излучения. Таким образом, радиус РСДБ-ядра  $r_{\text{core},\nu}$  является функцией частоты наблюдения  $\nu$  и хорошо аппроксимируется гиперболической зависимостью  $r_{\text{core},\nu} \sim 1/\nu$  [17]. Как правило, РСДБ-ядро является самой компактной и при этом доминирующей в потоке детально радиоизображения: в нем содержится  $\sim 75\%$  потока с парсекowych масштабов.

Какова физическая природа обнаруженной задержки радиоизлучения? Очевидно, что она не может быть объяснена дисперсией света разных длин волн. Даже для космологических расстояний, на которых находятся АГЯ, дисперсионная задержка составит лишь несколько секунд для частоты 15 ГГц по отношению к гамма-излучению. Модель, интерпретирующая задержку, представлена на Рис. 2. Согласно данной модели, область гамма-излучения (точка 1) находится на

расстоянии  $r_\gamma$  меньше, чем радиус РСДБ-ядра  $r_{\text{core},\nu}$  на 15 ГГц (точка 2). В точке 1 излучается гамма-фотон, для которого среда оптически прозрачна, тогда как для радиоизлучения она еще непрозрачна. Возмущению, вызвавшему гамма-вспышку, и распространяющемуся по выбросу со скоростью  $V$ , требуется время  $\Delta t = \Delta r / V = (r_{\text{core},\nu} - r_\gamma) / V$ , по истечению которого оно достигает радиоядра и становится обнаружимым в радиодиапазоне. В этот момент времени, гамма-фотон будет находиться в точке 3 на расстоянии  $c\Delta t = c(r_{\text{core},\nu} - r_\gamma) / V$  от точки 1 и будет впереди радио-фотона, излученного в точке 2, на расстоянии

$$\Delta r \frac{c}{V} - \Delta r \cos \theta = \Delta r \frac{c}{V} \left(1 - \frac{V}{c} \cos \theta\right) = \frac{\Delta r}{\beta} (1 - \beta \cos \theta).$$

С другой стороны, это же расстояние равно  $c\Delta t^{\text{sour}}$ . Тогда величина  $\Delta r$

$$\Delta r = c\Delta t^{\text{sour}} \frac{\beta}{1 - \beta \cos \theta}. \quad (2)$$

Используя соотношение (1) между истинной  $\beta$  и видимой  $\beta_{\text{app}}$  скоростью, получим

$$\Delta r = r_{\text{core},\nu} - r_\gamma = \frac{\beta_{\text{app}} c \Delta t^{\text{sour}}}{\sin \theta}. \quad (3)$$

Согласно [18], радиус РСДБ-ядра

$$r_{\text{core},\nu} = \frac{\Omega_{r\nu}}{\nu \sin \theta}, \quad (4)$$

где величина  $\Omega_{r\nu}$  является мерой сдвига  $(r_{\text{core},\nu_1} - r_{\text{core},\nu_2})$  абсолютного положения РСДБ-ядра между частотами  $\nu_1, \nu_2$  ( $\nu_1 < \nu_2$ ), измеряемого в миллисекундах дуги, и описывается соотношением

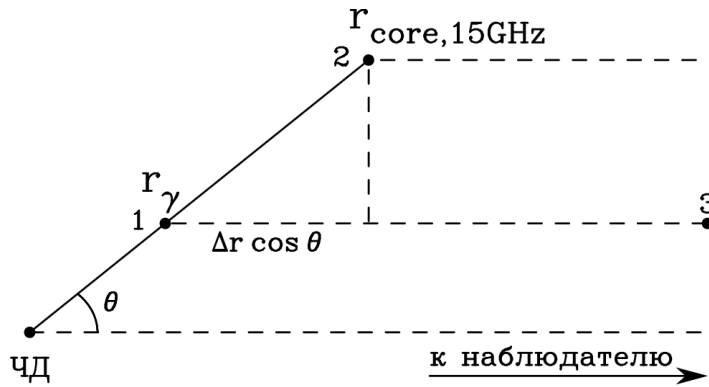


Рис. 2. Схема центральной области АГЯ. Точками обозначены: ЧД – черная дыра, 1 – область генерации гамма-излучения, 2 – радиоядро на частоте 15 ГГц, 3 – местоположение гамма-фотона в момент, когда радиофотон выходит из области непрозрачности (радиоядра).

$$\Omega_{r\nu} = 4.85 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{(r_{\text{core},\nu_1} - r_{\text{core},\nu_2})d_L}{(1+z)^2} \cdot \frac{\nu_1\nu_2}{\nu_2 - \nu_1}, \quad (5)$$

где  $d_L$  – фотометрическое расстояние до источника в пк, а частоты наблюдения измеряются в ГГц. Тогда, разделив (3) на (4), получим относительную величину  $r_\gamma$  (в единицах  $r_{\text{core},\nu}$ )

$$\frac{r_\gamma}{r_{\text{core},\nu}} = 1 - \frac{\beta_{\text{app}}\nu c\Delta t^{\text{sour}}}{\Omega_{r\nu}}. \quad (6)$$

Подставляя (4) в явном виде в выражение (3), а также используя тот факт, что  $1/\sin\theta \approx \Gamma \approx \beta_{\text{app}}$  для больших  $\Gamma > 10$ , получим  $r_\gamma$  в абсолютном виде

$$r_\gamma = \frac{\beta_{\text{app}}}{\nu} (\Omega_{r\nu} - \beta_{\text{app}}c\Delta t^{\text{sour}}), \quad (7)$$

где  $\beta_{\text{app}} = 15 \pm 3$ ,  $\Delta t^{\text{sour}} \sim (1.2 \pm 0.2)$  мес,  $\Omega_{r\nu} = (12 \pm 2)$  пк ГГц по данным работ [12,15,18], соответственно, а частота РСДБ-наблюдений  $\nu = 15.4$  ГГц. Поскольку параметры  $\beta_{\text{app}}$ ,  $\Delta t^{\text{sour}}$  и  $\Omega_{r\nu}$  распределены в интервалах ненулевой ширины, то для исследования выражений (6) и (7) был использован метод Монте-Карло. Предполагается, что все три вышеупомянутых параметра имеют нормальное распределение. Для генерации нормального распределения был использован метод трансформации Бокса-Мюллера для случайных величин равномерно распределенных в интервале  $[0, 1]$ .

Результаты расчета выражения (6) как функции видимой скорости в гамма-ярких струях показаны на Рис. 3 (а) для 100 000 реализаций метода. Доверительный интервал распределения величины  $r_\gamma / r_{\text{core},15\text{GHz}}$  (Рис. 3, б) на уровне 68% составил (0.23, 0.50) с медианным значением 0.40.

Результаты вычислений абсолютных значений  $r_\gamma$  (в парсеках) в зависимости от видимой скорости  $\beta_{\text{app}}$  согласно соотношению (7) приведены на Рис. 4 (а). Анализ соответствующего распределения  $r_\gamma$  (Рис. 4, б) дал оценки 68% доверительного интервала, составившего (2.50, 5.75) пк и медианного значения распределения, равного 4.48 пк. Таким образом, зона гамма-излучения находится на расстоянии нескольких парсек от центральной аккрецирующей черной дыры, но при этом внутри радиуса РСДБ-ядра на 15 ГГц.

С помощью соотношений (3) и (4) можно также оценить частоту наблюдения  $\nu_0$ , на которой временная задержка радио- и гамма-излучения равна нулю, что определяется условием  $r_{\text{core},\nu_0} \leq r_\gamma$ . Тогда искомая частота

$$\nu_0 \geq \nu_{15\text{GHz}} r_{\text{core},15\text{GHz}} / r_\gamma \quad (8)$$

с медианным значением 38 ГГц и 68% доверительным интервалом (28, 53) ГГц.

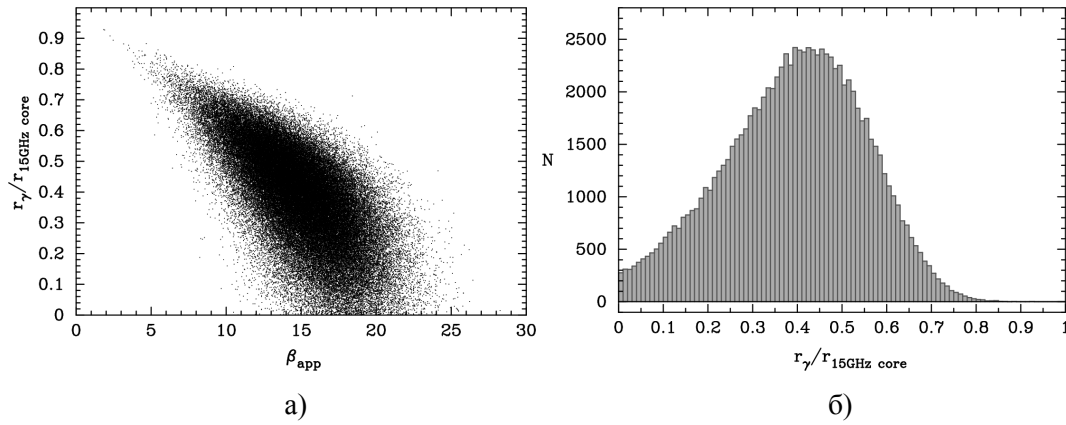


Рис. 3. Положение области формирования гамма-излучения по отношению к радиусу РСДБ-ядра на 15 ГГц как функция видимой скорости струи (а). Распределение величины  $r_\gamma / r_{\text{core},15\text{GHz}}$  (б).

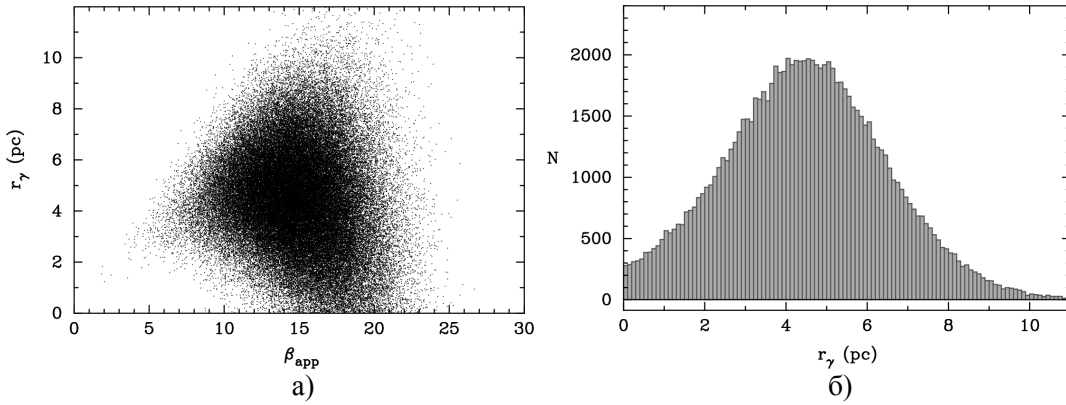


Рис. 4. Расстояние от центральной черной дыры до зоны генерации гамма-излучения как функция видимой скорости струи  $\beta_{\text{app}}$  (а). Распределение  $r_\gamma$  (б).

Заметим также, что область формирования гамма-излучения очень компактна. Ее размер  $d$  можно оценить по характерной наблюдаемой длительности ярких гамма-вспышек, составляющей  $\tau^{\text{obs}} \sim 10$  дней. Соответствующий промежуток времени в системе источника составит  $\tau^{\text{sour}} = \tau^{\text{obs}} D / (1 + z)$ , где  $D$  – Допплер-фактор,  $z$  – красное смещение. Используя значения  $D \sim 18$  и  $z \sim 1$ , типичные для гамма-ярких АГЯ [12,13], размер области формирования гамма-излучения составит  $d \leq c\tau^{\text{sour}} \sim 0.07$  пк, т.е.  $d \ll r_\gamma$  и соизмеримо с поперечными размерами фронтов релятивистских ударных волн, распространяющихся по выбросу.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведена локализация области формирования гамма-излучения в активных ядрах галактик с помощью метода Монте-Карло, используя результаты анализа (i) задержки радио- к гамма-излучению, (ii) собственных движений в струях гамма-ярких АГЯ и (iii) эффекта частотного сдвига абсолютного положения РСДБ-ядер квазаров. Показано, что данная область очень компактна ( $\leq 0.1$  пк) и находится на расстоянии  $\sim 0.4$  радиуса РСДБ-ядра на 15 ГГц, что соответствует расстоянию в несколько парсек от центральной черной дыры, т.е. может быть ассоциирована с зоной коллимации и ускорения релятивистских струй.

## Список литературы

1. Daly R.A. The gasdynamics of compact relativistic jets / Daly R.A., Marscher A.P. // *Astrophysical Journal*. – 1988. – V. 334. – P. 539-551.
2. Komissarov S.S. Magnetic acceleration of relativistic active galactic nucleus jets / Komissarov S.S., Barkov M.V., Vlahakis N., Königl A. // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. – 2007. – V. 380. – P. 51-70.
3. Swanenburg B.N. COS B observation of high-energy gamma radiation from 3C273 / Swanenburg B.N., Hermsen W., Bennett K., Bignami G.F., Caraveo P., Kanbach G., Mayer-Hasselwander H.A., Masnou J.L., Paul J.A., Sacco B. // *Nature*. – 1978. – V. 275. – P. 298.
4. Thompson D.J. Calibration of the Energetic Gamma-Ray Experiment Telescope (EGRET) for the Compton Gamma-Ray Observatory / Thompson D.J., Bertsch D.L., Fichtel C.E. et al. // *Astrophysical Journal Supplement Series*. – 1993. – V. 86. – P. 629-656.
5. Mattox J.R. A Quantitative Evaluation of Potential Radio Identifications for 3EG EGRET Sources / Mattox J.R., Hartman R.C., Reimer O. // *Astrophysical Journal Supplement Series*. – 2001. – V. 135. – P. 155-175.
6. Sowards-Emmerd D. The Gamma-Ray Blazar Content of the Northern Sky / Sowards-Emmerd D., Romani R.W., Michelson P.F. // *Astrophysical Journal*. – 2003. – V. 590. – P. 109-122.
7. Abdo A.A. Fermi Large Area Telescope First Source Catalog / Abdo A.A. et al. // *Astrophysical Journal Supplement*. – 2010. – V. 188. – P. 405-436.
8. Abdo A.A. The First Catalog of Active Galactic Nuclei Detected by the Fermi Large Area Telescope / Abdo A.A. et al. // *Astrophysical Journal*. – 2010. – V. 715. – P. 429-457.
9. Blandford R.D. Some comments on radiation mechanisms in Lacertids / Blandford R.D., Rees M.J. // *Proceedings of Pittsburgh Conference on BL Lac Objects*. – P. 328-341.
10. Matveenko L.I. Large base-line radio interferometers / Matveenko L.I., Kardashev N.S., Sholomitskii G.B. // *Izvestiya VUZ. Radiofizika*. – 1965. – V. 8. – P. 651-654.
11. Kovalev Y.Y. The Relation Between AGN Gamma-Ray Emission and Parsec-Scale Radio Jets / Kovalev Y.Y., Aller H.D., Aller M.F., Homan D.C., Kadler M., Kellermann K.I., Kovalev Yu.A., Lister M.L., McCormick M.J., Pushkarev A.B., Ros E., Zensus J.A. // *Astrophysical Journal Letters*. – 2009. – V. 696. – P. 17-21.
12. Lister M.L. A Connection Between Apparent VLBA Jet Speeds and Initial Active Galactic Nucleus Detections Made by the Fermi Gamma-Ray Observatory / Lister M.L., Homan D.C., Kadler M., Kellermann K.I., Kovalev Y.Y., Ros E., Savolainen T., Zensus J.A. // *Astrophysical Journal Letters*. – 2009. – V. 696. – P. 22-26.
13. Savolainen T. Relativistic beaming and gamma-ray brightness of blazars / Savolainen T., Homan D.C., Hovatta T., Kadler M., Kovalev Y.Y., Lister M.L., Ros E., Zensus J.A. // *Astronomy and Astrophysics*. – 2010. – V. 512. – P. 24-27.
14. Pushkarev A.B. Jet opening angles and gamma-ray brightness of AGN / Pushkarev A.B., Kovalev Y.Y., Lister M.L., Savolainen T. // *Astronomy and Astrophysics*. – 2009. – V. 507. – P. 33-36.



15. Pushkarev A.B. Radio/Gamma-ray Time Delay in the Parsec-scale Cores of Active Galactic Nuclei / Pushkarev A.B., Kovalev Y.Y., Lister M.L. // *Astrophysical Journal Letters*. – 2010. – V. 722. – P. 7-11.
16. Komatsu E. Five-Year Wilkinson Microwave Anisotropy probe Observations: Cosmological Interpretation / Komatsu E., Dunkley J., Nolte M.R. et al. // *Astrophysical Journal Supplement* – 2009. – V. 180. – P. 330-376.
17. Sokolovsky K.V. A VLBA survey of the core shift effect in AGN jets I. Evidence for dominating synchrotron opacity / Sokolovsky K.V., Kovalev Y.Y., Pushkarev A.B., Lobanov A.P. // *Astronomy and Astrophysics*. – 2011 (in press), arXiv:1103.6032.
18. Lobanov A.P. Ultracompact jets in active galactic nuclei / Lobanov A.P. // *Astronomy and Astrophysics*. – 1998. – V. 330. – P. 79-89.

**Пушкар'єв О.Б. Локалізація гамма-випромінювання в активних ядрах галактик / Пушкар'єв О.Б.** // *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*. Серія: Фізико-математичні науки. – 2011. – Т. 24(63), №2. – С. 13-21.

За даними наземних радіоінтерферометричних спостережень, виконаних на системі апертурного синтезу VLBA (Very Large Baseline Array), а також космічних спостережень гамма-обсерваторії *Fermi* локалізована область високоенергійного (0.1-100 GeV) гамма-випромінювання в активних ядрах галактик і асоційована з зоною прискорення частинок в релятивістських струменях цих джерел. Встановлено, що дана область знаходиться на відстані декількох парсек від центральної чорної діри.

**Ключові слова:** активні ядра галактик, квазари, гамма-випромінювання, інтерферометрія.

**Pushkarev A.B. Localization of gamma-ray emission in active galactic nuclei / Pushkarev A.B.** // *Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University*. – Series: Physics and Mathematics Sciences. – 2011 – Vol. 24(63), No.2 – P. 13-21.

Combining observational data from ground radio interferometric observations, carried out at the aperture synthesis system VLBA (Very Large Baseline Array), together with space observations at the gamma-ray observatory *Fermi*, the high-energy (0.1-100 GeV) gamma-ray emission site in active galactic nuclei is localized and associated with the particle acceleration zone in relativistic outflows of these objects. It is found that the gamma-ray emission region is situated at a distance of several parsecs away from the central black hole.

**Keywords:** active galactic nuclei, quasars, gamma-ray emission, interferometry.

*Поступила в редакцію 19.04.2011 г.*