

МОДЕЛЬ «БЛИКОВ» КАК ВОЗМОЖНЫЙ СПОСОБ ОБЪЯСНЕНИЯ СВЕРХСВЕТОВЫХ СКОРОСТЕЙ РАЗБЕГАНИЯ КОМПОНЕНТ ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИХ РАДИОИСТОЧНИКОВ

*Л. Э. Гуревич**, *А. Ф. Дравских*, *А. М. Финкельштейн*

Предложена модель, объясняющая разбегание компонент компактных внегалактических радиоисточников с видимыми сверхсветовыми скоростями. Модель предсказывает заметное уменьшение скорости разбегания и уменьшение угловых размеров компонент.

The model for the explanation of expansion effect of extragalactic radiosources components with apparent superrelativistic velocity is suggested. The essential decrease of expansion velocity and angular size of components are predicted in the framework of this model.

Радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами (РСДБ) позволяет строить радиоизображения источников со сверхвысоким разрешением (порядка нескольких десятитысячных секунды дуги). Уже первые РСДБ-наблюдения обнаружили, что квазары и ядра галактик имеют сложную многокомпонентную структуру. Наиболее впечатляющим результатом, связанным с этими наблюдениями, явилось открытие разбегания компонент со сверхсветовыми скоростями [1—10]. Наблюдения, в частности, показали, что квазары 3С 273 [1, 4, 5, 8, 9], 3С 279 [2, 5, 9], 3С 345 [10] и ядро сейфертовской галактики 3С 120 [6, 7] включают в себя две компоненты, угловые размеры которых меньше или около 0.0004. Угловое расстояние между компонентами имеет порядок нескольких миллисекунд дуги и меняется вековым образом, так что детали удаляются друг от друга с видимыми скоростями $(1.5 \div 4)c$ (c — скорость света) относительно центра масс. Отметим, что светимости компонент (коррелированная часть потока) оказываются приблизительно равными.

Нужно иметь в виду, что в цитированных работах измерялись лишь амплитуды функции видимости и наблюдения велись только на одной базе, что давало весьма слабое заполнение $U-V$ -плоскости. По этой причине при построении радиоизображений использовались различные модели (две δ -функции, гауссианы, кольцо и т. д.), которые могли бы наилучшим образом представить имеющуюся амплитудную информацию. В связи с этим первые попытки объяснить сверхсветовой эффект связывали с отказом от простых двухкомпонентных моделей с постоянным во времени потоком и переходом к трехкомпонентным моделям [3, 9] и моделям с сильной переменностью компонент [7, 10]. Однако в последние годы был осуществлен ряд РСДБ-экспериментов с использованием набора баз, в которых дополнительно к амплитудной информации использовалась информация о сумме фаз для всех баз, так называемой «фазе замыкания» («closure phase»), что позволяло исключить аппаратные и

* Сотрудник Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе АН СССР.

атмосферные фазовые задержки [11—13]. Эти наблюдения показали, что обнаруженный эффект с большой вероятностью имеет не модельную природу.

Очевидно, что сверхсветовые скорости разбегания деталей являются следствием некоторого фазового эффекта (если исключить почти невероятные предположения о некосмологической природе красного смещения квазаров и гипотезу о необходимости пересмотра шкалы внегалактических расстояний). Было предложено несколько вариантов объяснения этого эффекта: движение ультрарелятивистских выбросов в связи с моделью расширяющегося источника синхротронного излучения [14], последовательные вспышки серии источников, так называемой «Christmas tree» [15], столкновение двух сферических оболочек [3], движение частиц в среде со специально выбранным распределением плотности газа [16]. Из указанных объяснений наиболее естественным кажется модель Риса [14]. Однако в общем случае она должна приводить к разной светимости компонент (из-за Доплер-эффекта), что противоречит наблюдениям.*

В настоящей работе рассматривается следующая модель сверхсветового разбегания компонент внегалактических источников, модель «бликов». Пусть внегалактический объект представляет собой компактное сферическое образование А, окруженное уплотненным и гораздо менее плотным облаком В сильно замагниченной плазмы (структуры с такой геометрией изучались в [17]). Рассмотрим простейший случай, когда облако является круговым тороидом радиуса R . Если в некоторый момент в А происходит вспышка длительностью Δt , сопровождающаяся распространяющейся наружу сферически-симметричной ударной волной, то при переходе из А в В температура на фронте волны резко увеличивается, в связи с чем увеличивается поток ультрарелятивистских электронов, и, таким образом, все точки поверхности В одновременно увеличивают свою светимость (на время Δt). Вообще говоря, механизм «поджигания» может быть и отличным от указанного; с кинематической точки зрения важно лишь, чтобы он обеспечивал синхронное зажигание всей поверхности В.

Рассмотрим, какую картину увидит наблюдатель, находящийся на расстоянии $L \gg R$ от объекта в плоскости кольца. Поскольку скорость света конечна, то сигналы об увеличении светимости В будут достигать наблюдателя не одновременно. Они будут приходить тем позднее, чем дальше соответствующие точки В расположены от точки С ее поверхности, ближайшей к наблюдателю. Поэтому наблюдатель увидит два «блика», разбегающихся в обе стороны от точки С. Ширина этих бликов должна быть порядка $(v_{\text{exp}}^{(2)} - v_{\text{exp}}^{(1)})\Delta t$, где $v_{\text{exp}}^{1,2}$ — видимые скорости движения левого и правого краев «блика» относительно точки С. Видимый размер «бликов» в перпендикулярном направлении определяется толщиной В. Простые вычисления показывают, что скорость точек «блика» в картинной плоскости будет

$$v_{\text{exp}} = c \operatorname{ctg} \varphi = c \sqrt{(R/L\psi)^2 - 1},$$

где φ — угол между радиусами-векторами «блика» и точки С в системе А, а ψ — половина видимого углового расстояния между двумя «бликами». Очевидно, что при $R/L\psi > \sqrt{2}/\varphi < \pi/4$ видимая скорость v_{exp} будет больше скорости света. При разбегании «бликов» их скорость v_{exp} уменьшается и на краях В становится равной нулю. Переходя на противоположную сторону V_1 , расходящиеся «блики» превращаются в сходящиеся, но из-за непрозрачности В они оказываются уже невидимыми. Нетрудно понять, что время жизни «бликов» равно $T = R/c$. Если такая картина

* Эту трудность можно обойти, если специальным образом сфазировать скорость расширения компонент и, следовательно, скорость изменения их оптической толщины.

правильна, то ширина «бликов» должна уменьшаться по мере их движения, поскольку край «блика», ближайший к точке C , движется со скоростью, большей скорости более далекого края. На границе B ближайший к C край практически «догоняет» дальний край.

Если принять эту модель, то применительно, например, к квазару 3C 279 ($\phi=8.5 \cdot 10^{-4}$, $v_{\text{exp}}/c=3$, $L=3 \cdot 10^9$ св. лет при $H=75$ км/(Мгп·с), $q=1$) она дает следующие результаты. Размер облака B должен быть около 38 св. лет, а продолжительность вспышки $\Delta t \approx 4$ года. Последнее означает, что компактная деталь A должна иметь размер не более 4 световых лет. Повышение светимости A произошло в 1966 г., и скорость движения «бликов» станет меньше скорости света, например $c/2$, в 1983 г. Размер «блика» в эту эпоху будет 0'00015. Близкие к указанным оценки имеют место и для квазара 3C 273, который, впрочем, из-за весьма сложной структуры, по-видимому, наименее пригоден для описания предложенной модели. Однако отметим, что эффект, похожий на замедление скорости разбегания компонент квазара 3C 273, был обнаружен в недавнем РСДБ-эксперименте [18].

До сих пор мы рассматривали случай, когда наблюдатель находится в плоскости B . Очевидно, что в пределе, когда луч зрения перпендикулярен к плоскости B , наблюдатель должен был бы видеть расширяющиеся кольца, которые *in vivo* не наблюдались. Это можно объяснить тем, что на поверхности B , которая весьма близка к плоской, ширина кольца, определяемая скоростью движения ударной волны v_{sh} , не превышает сотых долей светового года, так что их угловой размер по крайней мере на два порядка меньше разрешающей способности РСДБ-измерений, а светимость на порядок меньше светимости «бликов».

Картина разбегания «бликов» может оказаться несколько более сложной, если сечение B сильно отличается от кругового. В этом случае на малых угловых расстояниях от C будет иметь место уже описанный эффект. Однако по мере разбегания «бликов» все сильнее будет сказываться влияние эксцентриситета B , и, начиная с некоторого момента, наблюдатель будет видеть не «блики», а границы пересечения сферической ударной волны и эллиптической поверхности B [3]. В этом случае видимая скорость разбегания компонент скачком изменится к досветовой.

Список литературы

1. Gubbay J., Legg A., Robertson D., Moffet A., Ekers R., Seidel B. Variations of small quasar components at 2300 MHz. — *Nature*, 1969, 224, No 5224, p. 1094—1095.
2. Knight C., Robertson D., Rogers A., Shapiro I., Whitney A., Clark T., Goldstein R., Morandino G., Vanderberg N. Quasars: millisecond-of-arc structure revealed by very-long baseline interferometry. — *Science*, 1971, 172, No 3978, p. 52—54.
3. Whitney A., Shapiro I., Rogers A., Robertson D., Knight C., Clark T., Goldstein R., Morandino G., Vanderberg N. Quasars revisited: rapid time variations observed via very-long-baseline interferometry. — *Science*, 1971, 173, № 3993, p. 225—230.
4. Kellermann K., Jauncey D., Cohen M., Shaffer B., Clark B., Broderick J., Rönnäng B., Rydbeck D., Matveenko, Moiseyev I., Vitkevich V., Cooper B., Batchelor R. High-resolution observations of compact radio sources at 6 and 18 centimeters. — *Astrophys. J.*, 1971, 169, p. 1—24.
5. Cohen M., Cannon W., Purcell G., Shaffer D., Broderick J., Kellermann K., Jauncey D. The small-scale structure of radio-galaxies and quasistellar sources at 3.9 cm. — *Astrophys. J.*, 1971, 170, p. 207—217.
6. Kellermann K., Clark B., Jauncey D., Broderick J., Shaffer D., Cohen M., Niell A. Observations of further outbursts in the radio galaxy 3C 120. — *Astrophys. J.*, 1973, 183, No 2, pt. 1, p. L51—L55.
7. Shapiro I., Hinteregger H., Knight C., Punsky J., Robertson D., Rogers A., Whitney A. 3C 120: Intense outbursts of radio radiation detected with the Goldstone—Haystack interferometer. — *Astrophys. J.*, 1973, 183, No 2, pt. 1, p. L47—L50.

8. Schilizzi R., Cohen M., Romney J., Shaffer D., Kellermann K., Swenson G., Yen J., Rinehart R. Observations with a VLB array. III. The sources 3C 120, 3C 273B, 2134+004 and 3C 84. — *Astrophys. J.*, 1975, **201**, p. 263—274.
9. Niell A., Kellermann K., Clark B., Shaffer D. Milli-arcsecond structure of 3C 84, 3C 273 and 3C 279 at 2 centimeter wave-length. — *Astrophys. J.*, 1975, **197**, p. L109—L112.
10. Cohen M., Moffet A., Romney J., Schilizzi R., Seielstad G., Kellermann K., Purcell G., Shaffer D., Pauliny-Toth I., Preuss E., Mitzel A., Rinehart R. Rapid increase in the size of 3C 345. — *Astrophys. J.*, 1976, **206**, p. L1—L13.
11. Rogers A., Hinteregger H., Whitney A., Counselman C., Shapiro I., Wittels J., Klemperer W., Warnock W., Clark T., Hutton L., Marandino G., Rönnäng B., Rydbeck Q., Niell A. The structure of radio sources 3C 273B and 3C 84 deduced from the «closure» phases and visibility amplitudes observed with three-element interferometers. — *Astrophys. J.*, 1974, **193**, p. 293—301.
12. Wittels J., Knight C., Shapiro I., Hinteregger H., Rogers A., Whitney A., Clark T., Hutton L., Marandino G., Niell A., Rönnäng B., Rydbeck O., Klemperer W., Warnock W. Fine structure of 25 extragalactic radio sources. — *Astrophys. J.*, 1975, **196**, p. 13—39.
13. Wittels J., Cotton W., Counselman C., Shapiro I., Hinteregger H., Knight C., Rogers A., Whitney A., Clark T., Hutton L., Rönnäng B., Rydbeck O., Niell A. Apparent «super-relativistic» expansion of the extragalactic radio source 3C 345. — *Astrophys. J.*, 1976, **206**, p. L75—L78.
14. Rees M., Simon M. Extragalactic variable radio sources. — *Nature*, 1970, **227**, p. 1303—1306.
15. Dent W. Evidence for spatially independent outbursts in compact radio sources. — *Astrophys. J.*, 1972, **175**, No 2, pt. 2, p. L55—L58.
16. Epstein R., Geller M. A model for super-light velocities extragalactic radio sources. — *Nature*, 1977, **265**, p. 219—220.
17. Boyarchuk A. A., Mustel E. R. *Astrophysics and Space*. — *Science*, 1970, **6**, p. 183—186.
18. Kellermann K., Shaffer D., Purcell G., Pauliny-Toth I., Preuss E., Witzell, Graham D., Schilizzi R., Collen M., Moffet A., Romney J. Very high-resolution observations of the radio sources NRAO 150, OJ 287, 3C 273, M 87, 1633+38, BL Lacertae and 3C 454. 3. — *Astrophys. J.*, 1977, **211**, p. 658—668.