

УДК 524.77

ДИСКРЕТНОСТЬ СКОРОСТЕЙ РАЗЛЕТА КОМПОНЕНТ ПРОТЯЖЕННЫХ ДВОЙНЫХ РАДИОИСТОЧНИКОВ

Т. Г. АРШАКЯН, Р. Р. АПРЕСЯН

Поступила 21 июля 1992

Принята к печати 2 декабря 1992

Для классических двойных радиосточников решена задача нахождения функции распределения скоростей разлета компонентов. При этом используется распределение наблюдаемого параметра $V = c(Q-1)/(Q+1)$, где $Q = R_1/R_2$ (R_1 и R_2 - видимые расстояния радиокомпонентов от центральной галактики), а c - скорость света. Предполагается, что выбросы имеют симметричную структуру, а различие расстояний R_1 и R_2 обусловлено конечностью скорости света. Исследовано распределение параметра V для трех выборок. Показано, что верхний предел скоростей разлета компонентов равен приблизительно $0.3c$. Найдено, что для радиогалактик и квазаров скорости разлета распределены дискретно. Большинство радиогалактик имеют скорости, заключенные в трех интервалах, средняя скорость в которых равна $V_1 \sim 0.05c$, $V_2 \sim 0.15c$ и $V_3 \sim 0.26c$, соответственно. Для квазаров она заключена в двух интервалах, со средними скоростями разлета $0.13c$ и $0.26c$.

1. Введение. В некоторых работах для классических двойных радиосточников оценены скорости продвижения горячих пятен относительно центральных галактик. Например, Харгривв и Райл [1], используя аргумент, что при релятивистских скоростях должно существовать различие в яркости и расстоянии от ядра между приближающимися и удаляющимися компонентами, установили верхний предел скорости ($0.1c$) для выборки относительно мощных радиосточников.

Лонгейер и Рили [2], анализируя параметр отношения расстояний радиокомпонентов от центрального источника, пришли к выводу, что верхний предел удаления горячих пятен для протяженных внегалактических радиосточников составляет примерно $0.2c$.

В другой работе [3], Катгери - Мекелли и др., имея данные об относительных положениях компонентов оптически отождествленных двойных радиосточников, наблюдаемых на частотах 178 МГц и 408 МГц, нашли среднюю скорость удаления, равную $0.24c$, с дисперсией

0.12c, причем нижний предел скорости составляет 0.1c. Вэллети в работе [4] дал грубую оценку скорости (0.3c) для слабых радионисточников, имеющих горячие пятна.

Оценки скоростей разлета компонентов, найденные разными авторами поередетвом решения прямых задач, имеют большой разброс. Это указывает на сложный вид функции распределения скоростей выбросов.

В настоящей работе для протяженных двойных радионисточников решена обратная задача для нахождения функции распределения истинных скоростей разлета. Для трех выборок, состоящая из радиогалактик и квазаров найдены некие функции распределения скоростей и обсуждены полученные результаты.

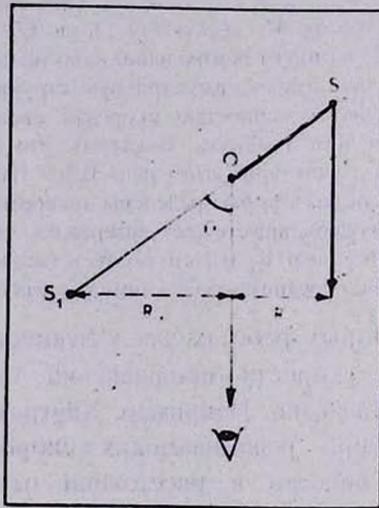


Рис.1. Выбросы компонент S_1 и S_2 происходят одновременно (из центральной галактики O), в противоположных направлениях со скоростью V_0 , под углом θ к наблюдателю. Величины R_1 и R_2 - видимые расстояния компонент от родительской галактики.

2. *Постановка задачи.* Предположим, что двойные радионисточники образуются симметричным выбросом радионзлучающих компонентов из родительской галактики (рис. 1), а различие видимых расстояний компонент (R_1 и R_2) от центральной галактики обусловлено конечностью скорости света. Результаты наблюдений хорошо согласуются с этой простой моделью (см., например, [5,6]).

Обозначим через V_0 скорость разлета компонентов относительно родительской галактики. Если направление выброса составляет с лучом зрения острый угол θ (где θ меняется от 0 до $\pi/2$), то можем записать

$$c \frac{Q-1}{Q+1} = V_0 \cos \theta \quad (1)$$

где $Q = R_1/R_2$ ($R_1 \geq R_2$)

Левая часть этого соотношения имеет размерность скорости. Обозначим через

$$= c \frac{Q-1}{Q+1} = V_0 \cos \theta \quad (2)$$

и впредь будем называть ее "наблюдаемой" скоростью, поскольку величина Q является наблюдаемым параметром, а V_0 - истинной скоростью.

Пусть имеем некоторое количество (M) двойных радиосточников с функцией распределения истинных скоростей разлета $F(V_0)$. Предположим, что угол θ распределен случайным образом в интервале углов $[0, \pi/2]$, т. е. все направления радиовыбросов в пространстве равновероятны.

В качестве исходных данных в настоящей работе используется распределение "наблюдаемых" скоростей $f(V)$. Нашей задачей является определение функции $F(V_0)$.

Рассмотрим пару случайных величин (V_0, V) и (V_0, θ) с плотностями φ и ψ соответственно. Тогда вероятность того, что истинная скорость в интервале $V_0, V_0 + dV_0$ будет "наблюдаться" в интервале скоростей $V, V + dV$ равна вероятности того, что радиовыбросы с истинными скоростями в интервале $V_0, V_0 + dV_0$ находятся относительно наблюдателя в промежутке углов от θ до $\theta + d\theta$

$$\varphi(V_0, V) dV_0 dV = \psi(V_0, \theta) dV_0 d\theta,$$

Поскольку величины V_0 и θ независимы друг от друга, а θ распределена случайным образом, то

$$\psi(V_0, \theta) dV_0 d\theta = F(V_0) dV_0 \sin \theta d\theta,$$

поэтому

$$\varphi(V_0, V) dV_0 = \frac{F(V_0) dV_0}{dV / d \cos \theta}.$$

Из соотношения (2) следует, что $dI'/d \cos \theta = V_0$, следовательно

$$\varphi(V_0, V) dV_0 = \frac{F(V_0)}{V_0} dI'_0.$$

Интегрируя последнее соотношение по всем возможным V_0 и помня, что $V_0 \geq V$, имеем

$$f(I') = \int_V^{\infty} \frac{F(V_0)}{V_0} dV_0. \quad (3)$$

Продифференцировав по нижнему переменному пределу, получим искомую функцию:

$$F(I') = -I' \frac{df(I')}{dI'}. \quad (4)$$

Если обозначим через dN количество объектов в интервале скоростей от V до $V + dV$, $dN = f(V)dV$ и пронормируем последнее, то

$$f(I') = \frac{1}{N} \frac{dN}{dI'},$$

следовательно соотношение (4) запишется в виде

$$F(I') = -\frac{I'}{N} \frac{d}{dI'} \left(\frac{dN}{dI'} \right), \quad (5)$$

Таким образом, полученное соотношение позволяет найти искомую функцию распределения истинных скоростей разлета $F(V_0)$, используя лишь наблюдаемые параметры (V , N , dN/dV).

Теперь выведем формулу, удобную для нахождения числа объектов в любом интервале истинных скоростей (V_1, V_2). Она понадобится нам для последующих расчетов. Для этого умножим обе части уравнения (4) на величину dV и проинтегрируем в пределах от V_1 до V_2

$$\int_{V_1}^{V_2} F(V) dV = - \int_{V_1}^{V_2} V df(V).$$

Интегрируя правую часть по частям и умножив полученное соотношение на полное число радионеточников N , имеем

$$N \int_{V_1}^{V_2} F(I') dI' = N \int_{V_1}^{V_2} f(I') dI' - N [f(I'_2)I'_2 - f(I'_1)I'_1].$$

Левая часть этого соотношения представляет собой количество радионеточников (n_0), имеющих истинные скорости в промежутке от

V_1 до V_2 . Первый член правой части - это количество радионисточников n_{12} с "наблюдаемыми" скоростями от V_1 до V_2 :

$$n_{12} = n_{12} - N[f(V_2)F_2^* - f(V_1)F_1^*] \quad (6).$$

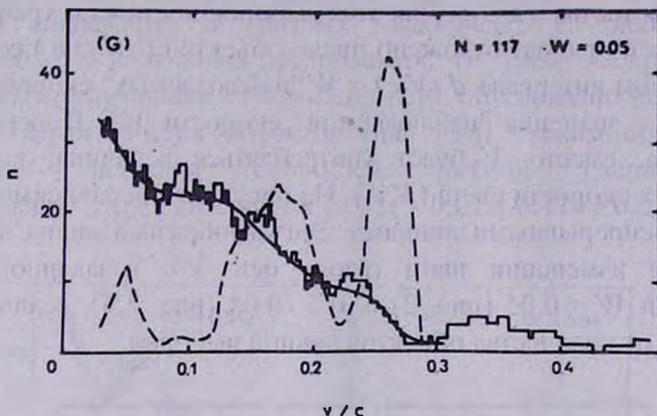


Рис. 2. Распределения по истинным ($f(V_0)$ -пунктирная линия) и "наблюдаемым" ($f(V)$ -непрерывная) скоростям разлета радиокомпонент выборки радиогалактик.

Величину n_0 также можно получить путем интегрирования в пределах от V_1 до V_2 функции $f(V_0)$, которая, в свою очередь, является производной от функции $F(V)$. Такая процедура вычисления может привести к большим ошибкам при оценке n_0 . Поэтому, несомненно, удобно вычислять эту величину из соотношения (6), т. к. при этом используется лишь наблюдаемое распределение $f(V)$.

3. *Выборка радионисточников и анализ наблюдательных данных.* Выборка двойных радионисточников состоит из объектов типа FR II по классификации Фонарова и Ризли [7], с отождествленными центральными радиогалактиками или квазарами. Для 165 радионисточников данные параметра $Q = R_1/R_2$ взяты из работы Аршакяна [8], а для 38 квазаров вычислены по радиокартам, опубликованным в работе Вартела и др. [9]. Все объекты исследованы на частотах выше 4.8 ГГц.

На основе этих данных были составлены три выборки, состоящие из радиогалактик, радиогалактик и квазаров с красными смещениями $z \leq 1.5$ и третья с $z \leq 4$. Для этих выборок построены графики (рис. 2-4). На оси ординат отложено число объектов ($dN = n$) содержащихся в заданном интервале $d(V/c) = W$ "наблюдаемых" скоростей, а на оси абсцисс - значения "наблюдаемой" скорости V/c . В дальнейшем, для удобства, вместо V будет употребляться величина, выраженная в единицах скорости света (V/c). На рисунках эта зависимость показана двумя непрерывными линиями. Зигзагообразная линия получена при шаговом изменении шага (полюсь оси V/c) заданного интервала шириной $W = 0.05$ (рис. 2) и $W = 0.04$ (рис. 3,4), величина которых зависит от количества объектов данной выборки.

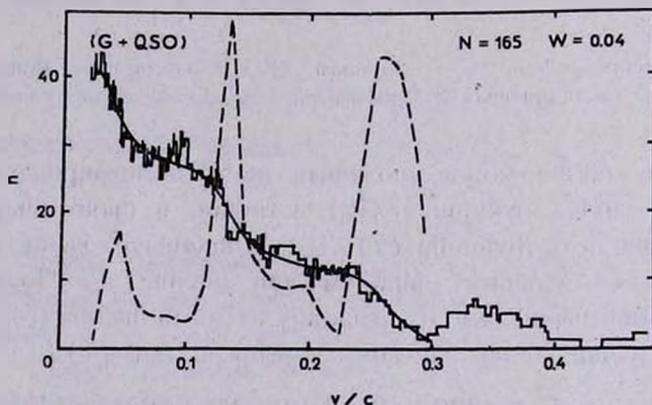


Рис. 3. Распределение $f(v/c)$ и $F(v/c)$ для выборки радиогалактик и квазаров с $z < 1.5$.

Непрерывная линия проводилась посредством сглаживания упомянутой линии с учетом того, что функция $n(V/c)$ убывает при возрастании величины V/c (как это следует из соотношения (3)). Пунктирная линия - это некая функция распределения $f(V_0)$, которая является производной от сглаженной кривой.

Функция распределения "наблюдаемых" скоростей для всех трех выборок убывает и имеет минимальное значение при $V/c \sim 0.3$. Поэтому, мы полагаем, что верхний предел скорости разлета радиокомпонентов не превышает величину $0.3c$. Объекты со скоростями, превышающими этот предел, видимо, не соответствуют симметричной модели, поэтому в дальнейшем все расчеты будут проведены для радиопетчинок, имеющих "наблюдаемые" скорости в интервале от 0 до $0.3c$.

Как видно из рисунков, функция распределения истинных скоростей разлета для всех выборок имеет дискретное распределение, с тремя пиками. Значения скоростей, при которых достигается максимум, совпадают в разных выборках с небольшими отклонениями. Это дает повод предполагать, что такое распределение не может быть случайным. Возможно, это обусловлено различием физических характеристик объектов типа FR II. Таким образом, у радиогалактик значения скоростей разлета располагаются преимущественно в трех интервалах ($0.03c - 0.07c$, $0.11c - 0.2c$, $0.23c - 0.3c$).

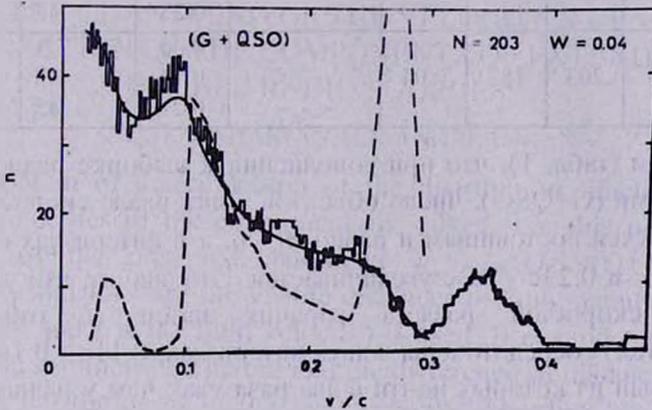


Рис. 4. Распределения $F(V_0)$ и $\Pi(V)$ для всей выборки радиогалактик и квазаров.

Основные результаты, полученные из расчетов, приведены в табл. 1. В этой таблице первый и второй столбцы указывают на морфологический тип объектов, используемых в расчетах, и их количество, соответственно, третий - число объектов в диапазоне скоростей $V/c = 0 - 0.3$, четвертый - ширину заданного интервала (W), пятый - интервалы скоростей разлета, шестой - величину скорости, при которой функция $F(V)$ достигает максимума, седьмой и восьмой - процентное и количественное содержание числа объектов, имеющих истинные скорости в пределах интервалов ΔV_1 , ΔV_2 , ΔV_3 . Данные последних двух колонок вычислены по формуле (6).

Таблица 1

| | N | N ₁ | W | ΔV_1 ΔV_2 ΔV_3 | $\sim V_1$, $\sim V_2$, $\sim V_3$ | n_1 n_2 (%) n_3 | n_1 n_2 n_3 |
|-----------------------|-----|----------------|------|--|--|-----------------------------|-------------------------|
| G | 117 | 104 | 0.05 | 0.03-0.07 0.11-0.20 0.23-0.30 | 0.05 0.16 0.25 | 6 31 48 | 6 31 48 |
| G1QSO $z \leq 1.5$ | 165 | 149 | 0.04 | - - - - - - - - - | 0.04 0.14 0.25 | 5 33 47 | 6 49 70 |
| G1QSO $z \leq 4$ | 203 | 182 | 0.04 | - - - - - - - - - | 0.04 0.12 0.27 | 3 35 45 | 6 64 82 |

Заметим (табл. 1), что при дополнении к выборке радиогалактик (G) квазарами (G1QSO), число объектов в интервале скоростей 0.03e - 0.07e остается постоянным и равно $n_1 \sim 6$, а в интервалах скоростей 0.11e - 0.16e и 0.23e - 0.3e увеличивается. Это значит, что у квазаров величины скоростей разлета горячих пятен (в отличие от радиогалактик) сосредоточены в двух интервалах, 0.11e - 0.16e и 0.23e - 0.3e, первый из которых почти в два раза уже, чем у радиогалактик. Приблизительно 90% квазаров второй и третьей выборок имеют скорости разлета, заключенные в вышеуказанных диапазонах. Интересно отметить, что во всех выборках почти половина объектов имеет скорости, заключенные в интервале 0.23e - 0.3e.

4. *Заключение.* Представляет большой интерес определить, по каким признакам группируются скорости разлета горячих пятен. Возможно, это зависит от радиосветимостей или же от месторасположения галактик в скоплениях. Не исключено также влияние градиента плотности межгалактической среды в скоплениях галактик. Решение этих задач требует отдельного исследования.

Ответы на эти вопросы приблизят нас к пониманию тех физических механизмов, действующих в активных ядрах внегалактических объектов, которые ответственны за субрелятивистские скорости разлета компонентов, а также могут выявить направление эволюционного пути классических двойных радиопетельщиков.

Авторы искренне признательны Т.А.Мовсисяну и В.О.Чавушяну за услуги, оказанные при компьютерной обработке.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

THE QUANTIZING OF THE VELOCITIES OF
SEPARATION OF THE COMPONENTS OF EXTENDED
DOUBLE RADIO SOURCES

D.G.ARSHAKIAN, R.R.ANDREASSIAN

The problem of determination of the distribution function of the separation velocities of the components is solved. For this purpose the distribution of the observed parameter $V = c(Q-1)/(Q+1)$, where $Q=R_1/R_2$ (R_1 and R_2 - are the visible distances of components from the central galaxy and c is the light velocity) is used. It is supposed that the outflows have symmetric structure and the difference of distances R_1 and R_2 is due to the finiteness of the light velocity. The distribution of the parameter V has been studied for three samples. It is shown that the upper limit of the separation velocities of the components is approximately equal to $0.3c$. It is found that the velocities of separation have the discrete distribution for the radio galaxies and quasars. The majority of radio galaxies have the velocities in three intervals, where the average velocities are $V_1 \sim 0.05c$, $V_2 \sim 0.15c$, $V_3 \sim 0.26c$, respectively. For the quasars it lies in two intervals with the average velocities $0.13c$ and $0.26c$.

ЛІТЕРАТУРА

1. *P.J. Ingrave, M.Ryle*, Mon.Not.Roy.Astron.Soc., 166, 305, 1974.
2. *M.S. Longair, J.M. Riley*, Mon.Not.Roy.Astron.Soc., 188, 625, 1979.
3. *J.Katgeri-Meikeliñ, C.Levi, L.Padrielli*, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 40, 91, 1980.
4. *D.G. Banhatti*, Turku-ITh-R133, Report ser., Informo 126, 1987.
5. *E.B. Fomalont*, Astrophys.J., 157, 1027, 1969.
6. *C.D. Muckay*, Mon.Not.Roy.Astron.Soc., 136, 123, 1967.
7. *B.L. Fonnaroll, J.M. Riley*, Mon.Not. Roy.Astron.Soc., 167, 31, 1974.
8. *Т.Г. Аршакян*, Астрофізика, 35,247, 1991.
9. *P.D.Barthel, G.K. Miley, R.T. Schilizzi, S.J. Lonsdale*, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 73, 515, 1988.