

ВЛИЯНИЕ ГРАВИТАЦИОННОГО ЛИНЗИРОВАНИЯ НА ФУНКЦИЮ СВЕТИМОСТИ КВАЗАРОВ

Ю.Л.Бухмастова

Санкт-Петербургский государственный университет
Санкт-Петербург, Россия
bukh_julia@mail.ru

ABSTRACT. The function of quasar distribution on apparent brightness is discussed. This function is found on base of suggestion that quasars, at least partly, are strong gravitational lensing images of the active nuclei of distant galaxies. This function is obtained using the Schechter luminosity function of sources, luminosity function of sources in form two- power law and also the magnification probability law for various models of gravitational lenses. At finding of theoretical function of the quasar distribution on apparent brightness the theorem on probability density of multiplication of random quantities. It is shown that slopping of this function in the event of weak quasars varies from -1 before -2 , as for usual galaxies. In the case of bright quasars a slopping to functions of distribution on apparent brightness is defined basically by lensing effect and is limited from below the value -3 . Good agreement of theory and observations allows to expect that quasar are gravitational lensing images of the active nuclei of distant galaxies statistically. If basic suggestion is true the luminosity functions of galaxies and apparent brightness of quasars are not independent, but connected by means of differential probability of lensing.

Функция светимости характеризует связь числа источников с их светимостью (с абсолютной звездной величиной). Функции светимости (ФС) галактик и квазаров отличаются друг от друга тем, что число квазаров уменьшается с ростом светимости более плавно. Расширение ФС квазаров может быть кажущимся эффектом, связанным с фокусировкой излучения на гравитационных линзах, попавших на луч зрения. На возможность такой интерпретации указывает диаграмма (рис.1), построенная для галактик и квазаров. Уменьшив блеск квазаров на 2-5 звездных величин путем сдвига вправо на диаграмме Хаббла, мы получим выборку объектов, схожих по светимостям с ядрами галактик.

Из-за гравитационного отклонения лучей в поле тяготения массивного объекта происходит увеличение светящейся площади источника. Таким образом яркость источника возрастает в десятки и сотни раз.

Необходим учет эффектов гравитационного линзирования при анализе функции светимости квазаров, поскольку галактики с активными ядрами и квазары могут рассматриваться как единый класс объектов. Принимая эту гипотезу, мы предполагаем, что квазары являются усиленными ядрами активных галактик. В качестве линз могут выступать шаровые скопления, находящиеся в гало более близких к нам галактик. В качестве линзируемых источников берутся не сами галактики, а их ядра. Массы компактных центральных объектов находятся в строгом процентном соотношении с массами галактик в целом и составляют около 0.2% от общей массы эллиптических родительских галактик или от массы балджа спиральных галактик [1]. Отсюда следует, что ФС галактик и их ядер идентичны по форме, а значит можно рассматривать ФС ядер в виде шехтеровского закона или в виде двухстепенного закона.

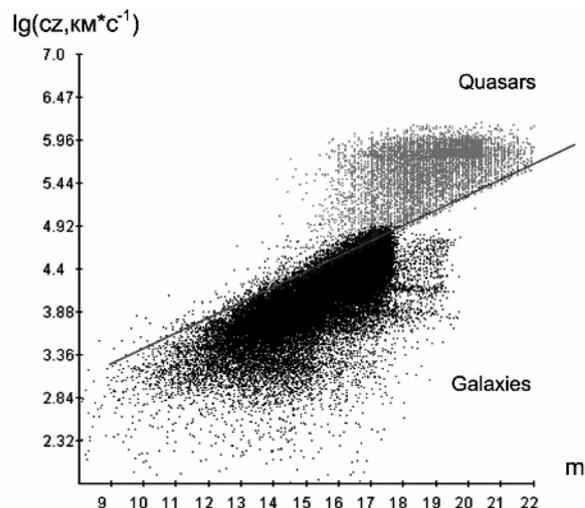


Рисунок 1

Функция светимости фоновых источников

Предположим, что ФС фоновых источников (квазаров) может быть представлена в виде функции Шехтера. Её общий вид $p_L(y) = n_0 y^a e^{-y}$, где $y = L/L_0$, L_0 -характерная светимость источника, $a < y < b$, a и b – нижняя и верхняя границы светимости, $n_0 = \frac{1}{\Gamma(1+\alpha, a) - \Gamma(1+\alpha, b)}$, где $\Gamma(\alpha, x)$ - неполная гамма функция, $-2 \leq \alpha \leq -1$.

Предположим также, что ФС фоновых источников может быть представлена в виде двухстепенного закона $p_L(y) = \begin{cases} c_1 y^a, & a < y \leq k \\ c_2 y^\beta, & k < y < b \end{cases}$ показатели α и β определяют наклон функции светимости для слабых и ярких источников соответственно, k – граница излома двухстепенного закона, определяющая переход от слабых источников к ярким, c_1 и c_2 постоянные величины.

Дифференциальная вероятность линзирования

Предположим, что все источники находятся на заданном фиксированном расстоянии (соответствующем красному смещению $z=1$) и рассмотрим случай значительных усилений блеска ($\mu > 1$). Для различных моделей гравитационных линз дифференциальная вероятность того, что источник с фиксированным красным смещением будет усилен в μ раз, определяется как $p_A(\mu) = \frac{\nu-1}{\mu^\nu}$, $\mu > 1, \nu > 1$. Значение ν близко к 3 [2,3].

Функция распределения линзированных источников по видимой яркости.

Пусть l – кажущаяся светимость источника, L – его истинная светимость, A – коэффициент усиления. Воспользуемся теоремой о плотности вероятности произведения независимых случайных величин. $l=A*L$. Рассмотрим плотности распределения трех случайных величин $p_l(x), p_A(\mu), p_L(y)$. Введем переменную интегрирования $u = x/\mu$. Плотность вероятности распределения источников по видимой яркости определится как $p_l(x) = \int p_L(u) \cdot p_A\left(\frac{x}{u}\right) du$. С учетом функции Шехтера

$$p_l(x) = n_0 \frac{\nu-1}{x^\nu} [\Gamma(\nu+\alpha, a) - \Gamma(\nu+\alpha, \min\{x, b\})].$$

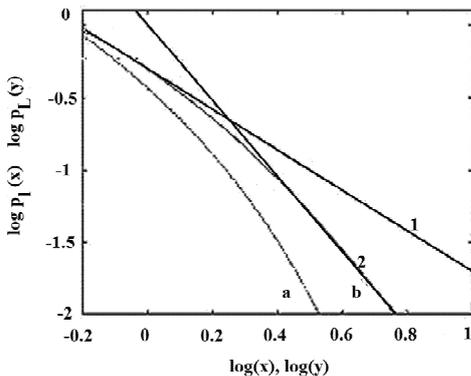


Рисунок 2

Наклон этой функции $\beta(x) = -\frac{d \ln p_l(x)}{d \ln(x)}$

определится как

$$\beta(x) = \begin{cases} \nu - \frac{x^{\nu+a} e^{-x}}{\Gamma(\nu+\alpha) - \Gamma(\nu+\alpha, x)}, & a < x < b \\ \nu, & x > b \end{cases}$$

Предельное значение наклона $\beta \approx -3$.

Подставляя в формулу интеграла двухстепенную аппроксимацию функции светимости, получаем следующие выражения для функции видимой яркости линзированных источников. В случае слабых источников справедливо $p_l(x) \approx c_1 c_2 \left(\frac{x^\alpha}{\nu+\alpha} - \frac{x^{-\nu} a^{\nu+\beta}}{\nu+\alpha} \right)$. В случае ярких источников $p_l(x) \approx c_2 c_3 \left(\frac{x^\beta}{\nu+\beta} - \frac{x^{-\nu} k^{\nu+\beta}}{\nu+\beta} \right)$. c_1, c_2, c_3 – постоянные величины [4].

Расширение функции светимости квазаров

Функция светимости галактик и квазаров, построенная на основе приведенных формул, представлена на рис. 2. Функция a – ФС для галактик, построенная по формуле Шехтера. Функция b – ФС для квазаров. Показаны двухстепенные аппроксимации ФС квазаров: график 1 с показателем степени $\alpha=-1.4$ для слабых квазаров и график 2 с показателем степени $\beta=-2.6$ для ярких квазаров. Эти показатели меняются в зависимости от выбранного значения границы излома двухстепенного закона. Теоретический предел для ярких квазаров $\beta=-3$. Приведем значения показателей степени, полученные в результате обработки наблюдательных данных. В работе [5] исследовано около 1000 квазаров с $0.1 < z < 3.3$. Показатели степени $\alpha=-1.7, \beta=-3.6$. В работе [6] дан обзор 2dF QSO 25000 квазаров с $0 < z < 3$. Показатели степени $-1.96 < \alpha < -1.55, -3.75 < \beta < -3.45$. В работе [7] проводится обработка данных 2dF QSO+SDSS обзора 10637 квазаров с $0.4 < z < 2.6$. Авторы приводят значение $-1.41 < \alpha < -1.37$. Показатель степени β для ярких квазаров меняется в зависимости от удаленности квазаров. Для близких квазаров с $z=0.5 \beta=-3$, для $z=2.5 \beta=-3.5$. На рис. 3 представлена наблюдаемая ФС для квазаров [7]. Видно, что форма ФС остается практически неизменной для квазаров с различными красными смещениями.

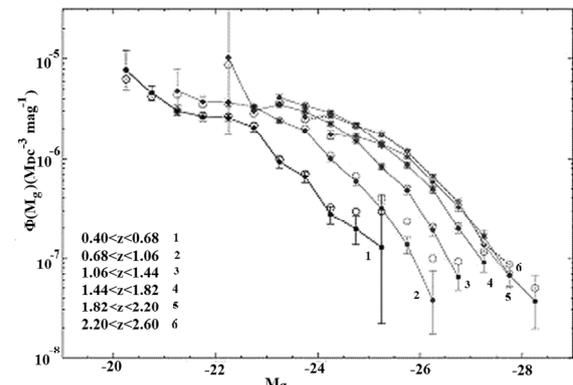


Рисунок 3

Выводы

Существует разброс в значениях наклона для ярких квазаров. Возможные причины такого разброса данных:

1) в неточности определения абсолютных звездных величин. Эти значения вычисляются в рамках определенной космологической модели; возможны неточности в фотометрических данных;

2) в способах обработки наблюдательных данных;

3) в некорректности формулы, определяющей зависимость вероятности линзирования от коэффициента усиления: в формуле нет учета зависимости от красного смещения квазара.

Однако в работе [2] авторами был получен теоретический нижний предел показателя степени ФС ярких квазаров, равный -2 . Поскольку этот результат явно противоречит наблюдениям, была отвергнута гипотеза о том, что расширение ФС квазаров- кажущийся эффект, связанный с линзированием. В представленном анализе теоретический нижний предел показателя степени стремится к -3 , что гораздо ближе к наблюдениям. Таким образом появилась возмож-

ность реабилитировать старую идею Барнотти-Тайсона о линзовой природе повышенной светимости квазаров. В рамках этой гипотезы функции светимости галактик и квазаров не являются независимыми, а связаны между собой посредством дифференциальной вероятности линзирования.

Литература

1. S.Nadis: 2001, *Astronomy*, February.
2. P.Schneider, J.Ehlers, E.E.Falko: 1992, "Gravitational Lenses", Springer-Verlag, N.Y., 375.
3. Ю.В.Барышев, Ю.Л.Бухмастова: 1997, *Астрономический журнал*, т. 74, стр. 497.
4. Ю.Л.Бухмастова: 2002, *Астрофизика*, т. 45, стр. 231
5. F.D.A.Hartwick, D.Schade: 1990, *ARAA*, v. 28, p. 437
6. B.J.Boyle, S.M.Croom, R.J.Smith, T.Shanks, P.J.Outram, F.Hoyle, L.Miller, N.S.Loaring: 2001, <http://babbage.sissa.it/astro-ph/0103064>.
6. Scott M. Croom, Gordon T. Richards, Tom Shanks et al.: arXiv:0907.2727v1